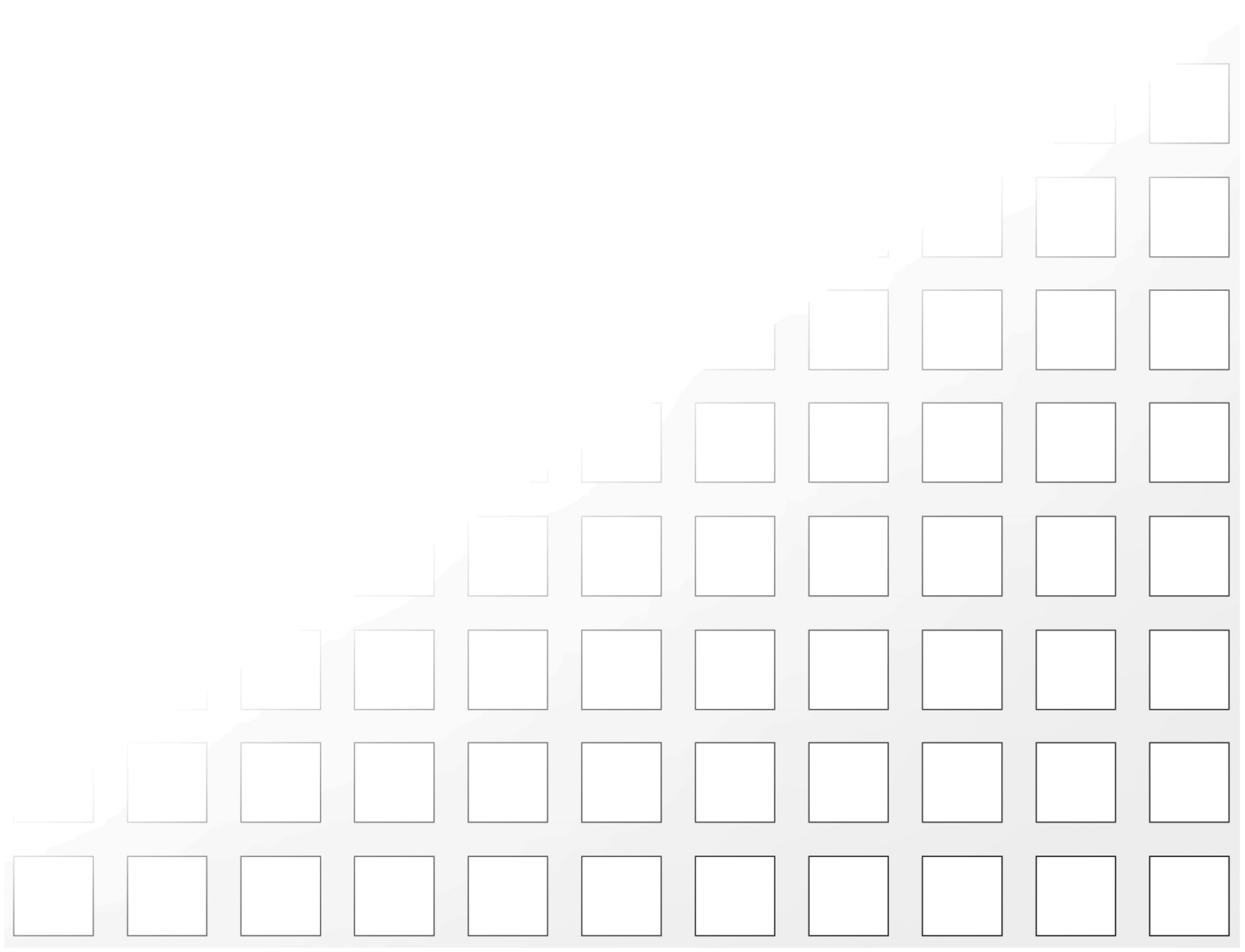


LA FACHADA MODULADA ESTRUCTURAL

ESTUDIO DE LA ESTRUCTURA PREFABRICADA EN UNIDADES MODULARES PARA LA FORMACIÓN DE FACHADAS COMPUESTAS DE HORMIGÓN.





GRADO EN FUNDAMENTOS DE LA ARQUITECTURA. PLAN 2012.

TRABAJO DE FIN DE GRADO

Septiembre 2018

Autor: Rafael Cano Aceituno

Tutor: José Sánchez Sánchez

Departamento: Estructuras de Edificación
e Ingeniería del Terreno

Índice

1. ABSTRACTO Y PALABRAS CLAVES

2. INTRODUCCIÓN

2.1. Objeto de la investigación

2.2. Alcance y Motivación

2.3. Ámbitos y Encuadres

2.4. Antecedentes

2.5. Justificación

2.6. Estado del Arte

2.7. Hipótesis

3. OBJETIVOS

4. METODOLOGÍA

4.1. Planteamiento General

4.2. Estudio

4.3. Conclusiones

5. ANÁLISIS DE REFERENCIAS

6. MODELO DESARROLLADO

7. CASO PRÁCTICO

8. ANEXO

9. BIBLIOGRAFÍA

1. ABSTRACTO Y PALABRAS CLAVES

ABSTRACTO

Los sistemas estructurales a los que estamos acostumbrados se basan en pilares ajustados a la planta que soportan las cargas totales del edificio desde el interior de las plantas, lo que conlleva que con cada vez más frecuencia la estructura sea vista como un planteamiento secundario del proyecto que termina forzándose sobre el mismo. Este sistema estructural, al partir de la concepción de que la estructura es una ocurrencia tardía, a menudo separa fachada y estructura, y la releva a un segundo plano tapada mediante un recubrimiento. La rutina acompaña a este modelo estructural, especialmente el hormigón, el cual muchas veces conlleva unos procesos poco eficientes que dependen en exceso de la construcción in situ, en desfavorecimiento de los métodos actuales de modulación y prefabricación en taller que en muchos casos agilizan y brindan más opciones a los proyectos.

Con esta problemática en mente el siguiente estudio busca analizar y generar un modelo de estructura aplicado a las fachadas modulada de hormigón a partir del análisis de edificios construidos con fachadas moduladas en el que las técnicas de prefabricación han estado presentes. A través de este análisis se definirá un modelo estructural que será aplicado a un edificio existente que conste de la problemática expuesta.

PALABRAS CLAVE

Fachadas moduladas, prefabricación, módulo estructural, exoesqueleto, hormigón prefabricado.

2. INTRODUCCIÓN

2.1 OBJETO DE LA INVESTIGACIÓN

El objeto de la investigación es la estructura en las fachadas moduladas de hormigón realizadas a través de procesos prefabricados.

2.2 ALCANCE Y MOTIVACIÓN

La realidad de la arquitectura en la actualidad tristemente es que la opinión de los procesos constructivos realizados in situ es bastante baja, ya sea por la gran cantidad de edificios que presentan patologías, por los edificios realizados antes de las normativas que regulan su correcta comprobación y construcción, o bien por las construcciones de gran rapidez debido a los booms inmobiliarios que resultan en viviendas con carencias, en el peor de los casos estructurales, que cada vez más desvirtúan los proyectos y desprestigian el valor de la arquitectura ante los ojos de la población.

Ante esta imagen corresponde a los arquitectos buscar nuevos caminos, o mejor dicho caminos existentes poco recorridos, tras los cuales garantizar una mayor calidad de los procesos construidos y así crear consciencia de una necesidad de especialización e innovación en la manera de pensar los edificios y su desarrollo.

Estas herramientas referidas son los procesos de prefabricación en taller. Desde principios del siglo XX se empezó a plantear la industrialización de la arquitectura de una manera mucho más cercana y en el sentido positivo de la palabra, alejarnos de sistemas tradicionales que se basan en la calidad de la mano de obra contratada y su comportamiento in situ e intercambiar gran parte de ese esfuerzo por el desarrollo en espacios controlados y especializados como son la fabricación en taller, siguiendo el concepto de modulación en el sentido técnico de la palabra.

2.3 ÁMBITOS Y ENCUADRES

El estudio habla específicamente de la problemática que se encuentra en España respecto a los procesos de prefabricación y las construcciones in situ en el siglo XXI, a continuación detallando algunos de los distintos ámbitos y encuadres que tocan a la hora de realizar el estudio.

- **Ámbito geográfico.** Los procesos a los que estamos acostumbrados en España son sistemas asumidos de obras in situ con una disciplina generalmente dependiente del personal contratado, siendo el caso más común personal no especializado y sin instrucción debido a que generalmente el coste de un sistema más novedoso conlleva mano especializada que, de primeras, repercute en un mayor gasto. A esto se junta el factor climático que se da en España, donde las condiciones meteorológicas son, en la mayor parte del país, favorables para la construcción in situ debido a que las temperaturas son cálidas y en pocos lugares alcanzan valores bajos que complican el fraguado del hormigón y condicionan su uso. Si comparamos esto con otros países como Alemania, donde es común que las temperaturas estén por debajo de 5°C bajo cero, el hormigón in situ es un recurso en el que no se puede confiar en su totalidad debido a que se ralentiza el proceso de fraguado y puede llevar a la

reducción de la durabilidad del hormigón. Este condicionante hace que en Alemania y en los países más fríos del norte los sistemas de prefabricación sean la orden del día, lo que conlleva una mano de obra especializada de calidad en ese ámbito, algo que en España, debido a que la necesidad no es imperante, no se plantea de manera regular.

-Ámbito socioeconómico. Otro factor a tener en cuenta es los recursos con los que se cuenta en España para realizar estos procesos. A menudo, las soluciones que se plantean en los proyectos provienen de una mentalidad a corto plazo, que supone un menor gasto de primeras pero que en un periodo de varios años es compensado sobradamente, como por ejemplo puede ser el gasto energético. Este tipo de situaciones generan casos en los que no se usan los recursos de manera eficiente comparado con otros países por una mentalidad cerrada a soluciones constructivas y métodos que se salgan de lo cotidiano. La formación de los operarios en obras es otro de los aspectos que es necesario desarrollar a la hora de ponerse al día con los sistemas de prefabricación, puesto que la precariedad y el pobre control de las obras ha ido deteriorando la mano de obra contratada, repercutiendo en las competencias de los trabajadores de la construcción y del acceso a las mismas ([Los Empresarios de la construcción ven “temeraria” la idea de Carmena de formar a sin papeles], www.okdiario.es).

2.4 ANTECEDENTES

Hoy en día son cada vez más los sistemas novedosos que salen al mercado internacional en el ámbito de diseño y estructura. Partiendo de referencias como Baupanel, marca que consiste en paneles de aislante con armaduras incorporadas las cuales luego se proyectan de microhormigón por ambos lados, dando una gran resistencia y durabilidad con un grosor reducido. Dicho sistema consta de la particularidad que tiene una presencia en el desarrollo de la construcción que por una parte se monta en taller y es una unidad de módulo que se repite y se adapta, mientras que en la obra hay que colocarlo y además hormigonarlo, por lo que toca ambos ámbitos de la construcción, algo que es una solución intermedia a la construcción basada in situ y la prefabricación. Otro de los sistemas que encontramos que parten de una prefabricación son los paneles Perfcon desarrollados por Guy Nordenson para los proyectos de Simmon's Hall y Linked Hybrid de Steven Holl. Dicho sistema elabora los paneles de la fachada portantes en taller, con programas precisos que arman cada pieza para lograr la estructura precisa necesaria el proyecto. Estos paneles son luego transportados a la obra para su montaje, siendo distancias largas ya que dependen del presupuesto donde se fabriquen las piezas.

A partir de estos sistemas estructurales se exploran los procesos prefabricados, definiendo los términos a los que es expuesto el trabajo de investigación y que deriva del interés de estas herramientas para la formación de estructuras en fachada.

-Módulo/Unidad Modular. El módulo en la arquitectura es un concepto que ha ido evolucionando a lo largo del siglo XX principalmente, donde podemos diferenciar entre arquitectura modular y modulación. La modulación consiste en la repetición de un patrón (o un módulo) con la finalidad de conformar algo más complejo compuesto de las unidades que se hayan definido, o bien también puede referirse a la acción de descomponer un elemento

en piezas más pequeñas iguales para simplificar dicho elemento. La arquitectura modular es aquella que por regla general se basa en unidades de viviendas reducidas las cuales se realizan en taller y luego se colocan enteras para formar un edificio basándose en su repetición, ya sea encajándolas en una estructura existente o bien que las propias viviendas modulares formen la estructura. Por otra parte, la definición de módulo más técnica que encontramos es la de prefabricación.

-Prefabricación. La prefabricación es el proceso de construcción en el cual se diseña y elabora un elemento en un ambiente alejado al que va a ser colocado, de manera que in situ solo se realiza el montaje del elemento completo. El concepto de prefabricación proviene de la industrialización, algo que a principios del siglo XX fue asumiéndose en la arquitectura, no sin polémica puesto que desde algunos puntos de vista era percibida como una des-humanización y decepción a la hora de ejecutarla ([*The end of prefabrication*], Chris Knapp). Actualmente vemos que es una herramienta que acelera el proceso de obra, puesto que por la contra parte del montaje in situ se realiza a través de operarios no especializados en un entorno no preparado, de manera que la posibilidad de fallo y de crear patologías es mayor. A través de la prefabricación de unidades modulares tenemos unos recursos más seguros a la hora de realizar una obra, debido a la simplificación del sistema de trabajo que resulta en un mayor control de las piezas colocadas. Estos conceptos se aplican a la estructura de los edificios de mayor dimensión de una manera particular, y es que no podemos simplificar el total de la estructura a través de procesos de modulación y prefabricación puesto que el montaje en la obra juega un gran papel. Se observa, pues, que no solo se requiere un buen diseño de piezas y su planificación a la hora de realizar un edificio usando estas herramientas, sino que también es necesaria una buena coordinación y manejo de las unidades modulares en el espacio de construcción.

-Exoesqueleto. Puesto que la estructura que vamos a estudiar se encuentra en fachada, nos encontramos que en varios casos la estructura de los edificios queda resuelta en su totalidad a través de la fachada, de esta manera queda definido exoesqueleto en el trabajo de investigación como la estructura que recubre la cara exterior del edificio y que no consta de estructura en la parte interior del edificio exceptuando núcleos de escaleras y similares. El término exoesqueleto tiene su origen en la naturaleza, debido al caparazón que recubre a insectos y otros invertebrados, sin embargo en la actualidad también ha sido extrapolado al diseño robótico como exoesqueleto mecánico, una máquina con funciones motoras que viste una persona generalmente con discapacidad para suplir las funciones de las que carece. En la arquitectura es una idea que va de la mano con el concepto de revestimiento y piel, siendo éstos la cara exterior del edificio la cual tiene un valor funcional y estético que sin embargo pocas veces es estructural, por lo que a través de la modulación se sintetizan ambos conceptos, formando la unidad modular que se monta en obra con estructura y revestimiento unidas de manera más eficaz y rápida. En otros casos la propia estructura tratada es el revestimiento del edificio como veremos en el análisis. El concepto de exoesqueleto en la arquitectura conlleva implicaciones espaciales en el sentido de que el edificio es visto como un contenedor diáfano en el que los espacios interiores no están delimitados por estructura interior, resultando en edificios óptimos para usos administrativos por regla general.

-Grid/Tejido. Las fachadas estructurales desarrolladas a partir de módulos son usualmente planteadas como un tejido que cose la fachada en su totalidad formando una cuadrícula que o bien se hormigonan sus uniones

o se encajan entre sí. Muchos edificios administrativos, especialmente judiciales, recurren a una fachada neutra y uniforme que la repetición de un módulo brinda. Se observa que la expresividad de los edificios resultantes es una variable a tener en cuenta cuando se desarrolla una fachada mediante una estructura modulada. El montaje de los módulos normalmente se realiza integrando los forjados en la proporción de la fachada respecto a los huecos, en el caso de que el número de huecos sea compatible o bien de forjado a forjado hay solo un hueco de ventana.

-Proporción de huecos. En las fachadas con estructuras moduladas encontramos que el elemento que más varía una de otras es la relación entre lleno y vacío en la fachada, es decir la proporción de huecos y elemento construido. Dicha proporción de huecos es la que marca el ritmo de la fachada y establece las dimensiones de la estructura entre huecos, definiendo el porcentaje de material y de ventana que encontramos en las fachadas.

-Fachada. Lo generalmente conocido como fachada son las envolventes del edificio que son percibidas desde el exterior del mismo, es decir, la relación visual entre el viandante y el proyecto. De esta manera se define la fachada como el plano exterior vertical del edificio en el cual puede ubicarse el acceso al mismo.

La definición de estos conceptos e ideas aclara la dirección que sigue el trabajo de investigación a la hora de estudiar los casos y obras en las que vemos estructuras de fachadas modulares.

2.5 JUSTIFICACION

En la actualidad puede decirse que la economía respecto a la construcción empieza a recuperarse del duro golpe de la crisis alrededor del año 2007, lo que replantea la visión sobre la construcción tal y como se realizaba antes de la crisis, durante y después, teniendo en cuenta que la gran cantidad de construcción de obras que se llevaba a cabo ha sido drásticamente reducido esto nos lleva a considerar nuevas formas y nuevos procesos a través de los cuales llevar adelante un proyecto frente a los métodos que han estado siendo mínimos estos últimos años como puede comprobarse en los datos y estadísticas recogidas por el Ministerio de Fomento de España donde se especifica el consumo de hormigón por año. Estos datos muestran el desplome en el consumo de hormigón a partir del año 2007 con 55.900 miles de toneladas consumidas hasta 2013 cuando empieza a crecer de nuevo el consumo de hormigón de manera lenta y progresiva de 10.700 miles de toneladas ese mismo año hasta la cifra de 12.500 miles de toneladas que se registró en el año 2017 (Fig. 1). Se aprecia que el crecimiento ha sido muy bajo y que para poder retomar la producción de proyectos debe de innovarse en los métodos ya conocidos para poder dotar a la arquitectura de más herramientas para ejecutar sus ideas.

PERIODO	PRODUCCION	INCREMENTO DE STOCK	IMPORTACION	EXPORTACION	CONSUMO APARENTE
2017	15.945	-302	332	3.840	12.587
2016	15.067	36	353	3.947	11.157
2014	14.555	-97	344	3.738	10.833
2013	13.731	-78	300	3.040	10.743
2008	42.082	-254	1.744	1.349	42.696
2007	54.721	171	2.852	1.090	55.998

Fig. 1 Tabla del Consumo de Cemento. Fuente: Web Oficial Ministerio de Fomento.

Cuando se habla de los métodos y procesos para realizar construcción viene acompañado de la mano de obra que lo realiza. Puesto que la producción en la construcción fue reducida a más de una quinta parte de lo que era en 2007, la mano de obra también fue reducida drásticamente, resultando en un aumento de la tasa de paro de un 20% en 5 años, que limitó la posibilidad de innovar en sistemas por la precariedad y el riesgo de la construcción durante esos años. En el año 2017 se registró una reducción de esa tasa de paro en un 15%, siendo aún mayor que en el año 2007 por un 5% (Fig. 2), sin embargo al haber mejorado en ese tiempo de paro se han desarrollado una meticulosidad y un mayor grado de exigencia a la hora de la formación de la mano de obra, algo cuya expansión y progresión se puede aplicar al ámbito de la especialización como camino para desarrollar proyectos que no siempre dependan del sistema clásico de estructura de hormigón armado vertido que se ha vivido en España durante los años previos a la crisis y posterior.

PERIODO	PARADOS (miles)			TASA PARO (%)		
	TOTAL	HOMBRES	MUJERES	TOTAL	HOMBRES	MUJERES
2017	150	144	6	11,74	12,28	5,71
2016	182	176	6	14,48	15,09	6,59
2014	254	244	10	20,37	21,14	10,75
2013	338	323	15	24,73	25,53	14,71
2008	422	407	15	14,64	15,13	7,81
2007	184	176	8	6,39	6,47	5,00

Fig. 2 Tabla del Paro en la Construcción. Fuente: Web Oficial Ministerio de Fomento.

El interés del trabajo proviene de la formación de la estructura a través de distintos métodos constructivos, siendo el más común el vertido in situ de hormigón para formar hormigón armado o la colocación de elementos estructurales metálicos a través de uniones. Mediante el conocimiento previo de estos procesos se ha buscado información de modelos estructurales que sean desarrollados de manera distinta, apreciando el valor del montaje en las estructuras de acero al mismo tiempo que se tiene en cuenta los trabajos realizados in situ con el hormigón armado. Se buscan referencias y sistemas que usen ideas de unidades modulares aplicadas a la estructura en la fachada del edificio que se salgan de la norma en lo que se consideran los dos extremos de hormigón armado in situ y el montaje de las estructuras metálicas.

El trabajo de investigación busca explorar el significado de módulo y la relación con el concepto de prefabricación, identificar los diferentes matices que rodean a ambos términos, teniendo muchos puntos en común y muchos otros diferenciados debido a la gran variedad de campos que tocan. Gracias a la formación de arquitecto se gana una idea de módulo como concepto de habitación, algo que explora el módulo en el sentido más teórico y académico que limita el término, de esta manera se busca recordarnos la amplitud del término y explicarlo desde el punto de vista más técnico aplicado a la estructura de los edificios. En el caso de la prefabricación encontramos que es lo contrario, se percibe el término de manera más técnica y se olvida su aplicación conceptual y teórica que también conlleva en la arquitectura, limitándose a referencias a piezas y conjuntos constructivos y materiales en muchos casos. Con esta premisa en mente se parte de la concepción de que módulo y prefabricación son dos caras de la misma moneda, que según el matiz de la palabra se refiere a un concepto o a una técnica. A partir de

estas preconcepciones se filtra la idea de estructura en la fachada como un elemento compuesto que influye a la estructura de todo el edificio, en vez de pensar la fachada como un elemento a recubrir mediante materiales que oculten o utilicen la estructura como un elemento de apoyo en segundo plano.

Puesto que los sistemas prefabricados de estructura son un ámbito muy amplio, se pretende realizar una búsqueda dentro de la fachada como elemento estructural. La estrategia de poner el foco de atención en la fachada también permite desarrollarla y definir el papel que juega en el edificio y la estructura o viceversa. La fachada al fin y al cabo es considerada el intercambiador entre el propio edificio y los edificios que le rodean, es decir, con la ciudad y la calle, siendo un concepto a tener en cuenta ya que las fachadas moduladas constan de la característica de que son un elemento uniforme al estar compuesto de muchas piezas iguales. Como se ha mencionado la fachada establece una comunicación con el entorno en el sentido de que debe transmitir lo que sucede en el edificio con el mismo, de manera que vemos que este sistema de fachada modulada se utiliza en usos normalmente administrativos como pueden ser las ciudades de justicia, aunque también por la facilidad que ofrece la prefabricación en el proceso se utiliza en viviendas plurifamiliares de cierta envergadura, a veces en agrupaciones de torres que se miran unas a las otras, dando sensación de un microespacio urbano entre ellas.

Debido a que se estudia la estructura en fachada muchos casos encontrados tienen que ver con estructuras de tipo exoesqueleto donde no hay estructura en el interior de la planta. Encontramos que muchos de estos tipos estructurales se hallan en usos administrativo, donde se busca la versatilidad del espacio sin estructura interior y paramentos rígidos que premian la transparencia del mismo, siguiendo el concepto de "open plan", siendo un 80% las oficinas las que cuentan con esta disposición en la actualidad ([*Open-Plan Offices Don't Work*], Art. por Amar Singh), que además no limitan la alternativa de uso en un futuro, dándole mayores posibilidades a los edificios a lo largo del tiempo.

Cuando se habla de exoesqueleto la mayoría de casos que vemos en la arquitectura se aplican a grandes edificios en altura compuestos en fachada de perfiles metálicos unidos en distintas geometrías para formar una retícula estable. La familiarización con el hormigón como elemento líquido que se vierte es patente a lo largo de la formación de arquitectura, en detrimento de la perspectiva del hormigón como un material flexible y manejable en el montaje como es en las estructuras moduladas que tejen y componen fachadas. Con esta concepción, se busca acercarse a el hormigón como material prefabricado para abrir las posibilidades y las enseñanzas recibidas sobre dicho material.



Fig. 3 Morpheus Hotel, Macau.

Fuente: [www. http://www.zaha-hadid.com](http://www.zaha-hadid.com)



Fig. 4 St. Mary Axe, Londres

Fuente: <https://www.fosterandpartners.com>

2.6 ESTADO DEL ARTE

Cada vez más encontramos talleres especializados en la construcción prefabricada debido a que puede ser más rápido y económico que las construcciones basadas en el sitio, sin embargo también encontramos mucho rechazo hacia la prefabricación desde el ámbito de la arquitectura ([*The end of prefabrication*], Chris Knapp). La prefabricación requiere de un diseño previo de módulos y una tecnificación del proyecto para poder realizarla, algo que muchas veces no se realiza y además facilita la producción en masa de edificios que no desarrollan un proyecto específico para el mismo sino que a través de los procesos de prefabricación realizan soluciones básicas y desactualizadas que no aportan a la arquitectura.

Debido a esta la prefabricación ha obtenido una mala fama resultante de este abuso de lo común, sin embargo la prefabricación va más allá de estos sistemas ya que es una herramienta más que nos sirve a la hora de hacer proyectos sugerentes y con base, pero siempre desde un planteamiento que desde el primer momento de un proyecto sea compatible con los procesos de modulación.

Esta producción en masa de prefabricación también ha afectado a la perspectiva de la estructura, cuya simplificación ha llevado a que la estructura que se plantea como un desarrollo apartado del proyecto, encajando luego ambos de manera forzada, cuando la estructura funciona en paralelo respecto al proyecto. La limitación a los procesos constructivos de la estructura no ayuda en este aspecto ya que encontramos que se normalizan los sistemas estructurales, en muchos casos debido a la falta de talleres y lugares especializados que permiten la afluencia de posibilidades y herramientas con las que proyectar estructura.

2.7 HIPÓTESIS

¿Es posible la creación de una estructura sugerente mediante procesos de prefabricación y modulación?

La actitud escéptica que muchos arquitectos tienen frente a la prefabricación después de un siglo de su interiorización ha generado una negatividad sobre un elemento que no termina de ser una herramienta que abre posibilidades dentro de la arquitectura. Cada vez hay más espacios donde este sistema puede utilizarse y desarrollarse utilizando los conocimientos aprendidos sobre estructura de una manera original y enriquecedora de manera que la estructura de un edificio no sea vista como una tarea dentro de un proyecto sino como un campo donde aumentar el interés del proyecto. El rechazo a métodos nuevos de estructura desemboca en casos como la actualidad donde la mayoría de edificios constan de tratamientos de envolventes y cerramientos que ocultan la estructura por no realizarse una proyección de la misma de manera adecuada, y para eso debe ser expuesta, empezando por la fachada.

3. OBJETIVOS

GENERAL

El trabajo de investigación tiene por objetivo generar un modelo de estructura para fachadas que ponga en valor la estructura en el proceso del proyecto, buscando procesos que amasen nuevas posibilidades a la hora de realizar dicho modelo a través de técnicas de modulación y prefabricación.

ESPECÍFICOS

- Poner en valor el hormigón como un material polivalente.
- Explorar el significado de la fachada en el proyecto y su relación con la estructura.
- Sensibilizar y poner en valor la eficiencia de los procesos de prefabricación para el diseño de la estructura.
- Identificar el concepto de exoesqueleto y sus posibilidades.
- Valorar las dimensiones que se manejan en estos modelos estructurales.

4. METODOLOGIA

Partiendo de la investigación de una base documental bibliográfica y digital, se establecen unos parámetros mediante la extracción de datos cuantitativos respectivos a edificios que consten de estructura de fachada modulada con los que elaborar, mediante su análisis y conclusiones, un modelo estructural el cual pueda extrapolarse y aplicarse a un caso práctico de estudio de un edificio existente para comparar sistemas estructurales.

FASE 1. EXTRACCIÓN DE DATOS Y ANÁLISIS

De los apartados anteriores (ámbitos, antecedentes y estado del arte) se definen las preconcepciones a la hora de realizar la extracción de datos y el análisis de las obras escogidas, las cuales son elegidas de un ámbito internacional (Estados Unidos, China y Alemania) a un ámbito nacional (España) con el requisito de que consten de fachadas moduladas y portantes, teniendo peso en la estructura del edificio en general, que a su vez se hayan compuesto a través de procesos de prefabricación y modulación. De esta manera se han recogido los datos de 6 obras cuyo aspecto y forma son similares ya que siguen la misma línea estructural y conceptual respecto a las fachadas del edificio. La elección de las obras también deriva de la familiarización de obras internacionales con procesos de prefabricación, para comparar con las de España los procesos prefabricados aplicados, junto a la recogida de datos respectivos a las dimensiones y medidas para tener una medida cuantitativa con la que realizar el análisis y comparar los proyectos. Se adjuntan los edificios elegidos para este análisis.

FASE 2. CONCLUSIONES Y DEFINICIÓN DE MODELO ESTRUCTURAL

A raíz de los datos recogidos se elabora el modelo estructural que sintetice las conclusiones sobre el análisis de las distintas obras. Además de la recopilación de datos de la fase 1 también se elabora una lista de ventajas e inconvenientes respecto a los modelos estructurales usuales en distintos aspectos que afecten a la proyección y el planteamiento de la estructura del edificio.

FASE 3. APLICACIÓN A CASO PRÁCTICO Y RESULTADOS

Una vez que se ha realizado el modelo estructural a raíz de la investigación se aplicarán los conocimientos al edificio escogido para el caso práctico, siendo dicho edificio la Tecnoincubadora Marie Curie de la zona de la Cartuja en Sevilla. Dicho edificio ha sido elegido al tener una dimensión de vanos aceptable para proponer una estructura en fachada que tenga cierto carácter exoesquelético, además de que conste de estructura interior que pueda llevarse parte a la fachada e integrarla con la misma para liberar un porcentaje de la planta frente a pilares de grandes dimensiones.

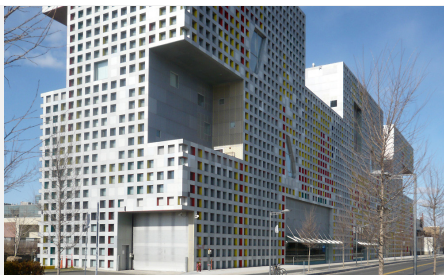


Fig. 5

SIMMON'S HALL MIT, ESTADOS UNIDOS

Arq. Steven Holl



Fig. 6

LINKED HYBRID, CHINA

Arq. Steven Holl



Fig. 7

SLICED POROSITY BLOCK, CHINA

Arq. Steven Holl

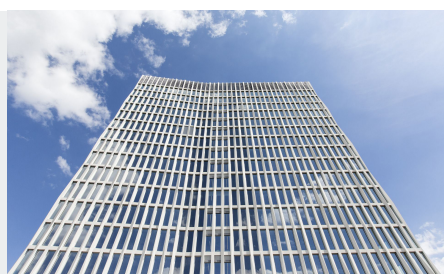


Fig. 8

TOUR TOTAL TOWER, ALEMANIA

Arq. Barkow Leibinger



Fig. 9

CIUDAD DE LA JUSTICIA DE BARCELONA, ESPAÑA

Arq. David Chipperfield



Fig. 10

CONSERJERÍA "EDIFICIO PICASSO", ESPAÑA

Arq. Cruz y Ortiz

ANÁLISIS DE REFERENCIAS

1.1 FICHA TÉCNICA SIMMON'S HALL

Simmons Halls fue construido como ampliación a las dotaciones de residencias de estudiantes que alberga el MIT, siendo el edificio anterior la Baker House de Alvar Aalto. El concepto del edificio se basa en que el edificio sea poroso, que sea un elemento uniforme en el que se abren huecos puntuales de mayor tamaño para facilitar la ventilación y la iluminación del interior. De esta manera, la estructura se localiza en la envolvente y en el interior en el pasillo, ascensores y en los huecos de mayor tamaño que se introducen en el edificio como paredes de arriostramiento a empujes.

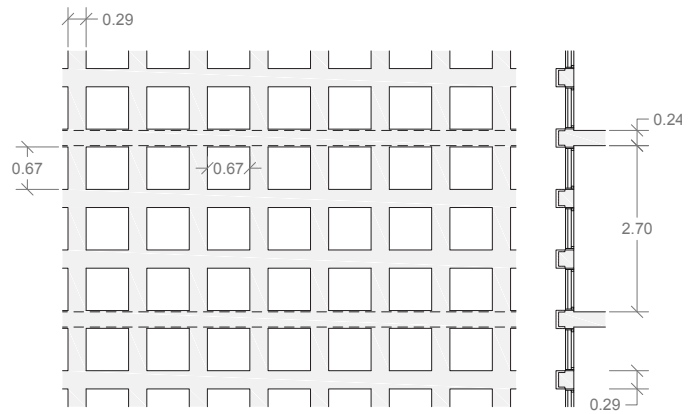


Fig. 11 Fachada Modular Simmon's Hall

DIMENSIONES

Huecos de ventana	67x67cm
Canto de forjado	24cm
Altura total de planta	2,70m
Número de plantas	PB + 9 + 1 sótano
Pilares interiores	36cm de ancho
Sección Horizontal en fachada	29x42cm
Luces máximas en fachada	16,50m
Sección Vertical en fachada	28x29cm
Porcentaje de Huecos	47%



INFORMACIÓN GENERAL

El proyecto fue desarrollado por el arquitecto Steven Holl y terminado en el año 2002. Steven Holl consta de varios edificios en los que ha usado procesos de prefabricación con paneles muy parecidos al de Simmon's Hall, siendo éste el primero en la línea de los tres edificios del mismo carácter que van a ser estudiados. El edificio se encuentra en Cambridge, Estados Unidos, consta de 10 plantas de altura y de una longitud de 116 metros de largo. El edificio contiene 350 dormitorios estudiantiles cuyo programa deriva de la previa residencia de estudiantes Baker House de Alvar Aalto construida en 1948. Paneles Perfcon desarrollados por Guy Nordenson.

PROYECTO

La idea principal del proyecto parte del concepto de "porosidad", se busca que el edificio sea una esponja con una naturaleza homogénea pero con cinco huecos de mayor envergadura en ciertos puntos para suplir la ventilación y las necesidades de entrada de luz al edificio. El edificio desarrolla el significado urbanístico que toma en la ciudad, sin plantearse de una manera estrictamente vertical, sino que se forma mediante una pieza en horizontal en la que se abren huecos y pasos resultando en tres piezas verticales identificables, alejándose de la concepción de bloque del edificio.

Los poros del edificio se han logrado conseguir a través de paneles prefabricados de hormigón que cubren una altura de una planta con una retícula de 3x3 huecos cada uno. Estos módulos se han desarrollado con el propósito de que el propio grosor del mismo regule la entrada de luz en el edificio según la estación, estando el sol más bajo en invierno entrando mayor iluminación y estando el sol más alto en verano impidiendo que la luz entre tanto. Los grandes huecos que se abren en el edificio hace que entre la luz y la ventilación a las zonas comunes y al pasillo interior que conecta los dormitorios con el resto de usos.

Respecto a la estructura, en los puntos donde se producen más esfuerzos se hormigona el hueco de la cuadrícula que corresponda, resultando una fachada que además ha sido tratada en su acabado mediante un código de colores muestra el armado de los módulos, siendo rojo el de mayor sección de barras a verde con las secciones menores. Mediante esta estructura en fachada quedan resueltas las cargas del edificio junto a la estructura de paneles que se suceden el interior del edificio a lo largo del pasillo central y las zonas comunes. Para el cercado de huecos en la fachada se han utilizado perfiles metálicos que en algunos casos han sido revestidos, mientras que en otros casos se ha vertido hormigón armado para solucionarlos.



1.1 FICHA TÉCNICA LINKED HYBRID

El complejo de edificios de Linked Hybrid se constituyen como una ciudad a menor escala, pensándolo como un espacio público rodeado por las torres que se relacionan por las plantas bajas, a su vez que las torres están conectadas el altura por puentes metálicos que permiten el paso de una torre a otra. De esta manera se crean dos anillos públicos en el proyecto, siendo el resto del proyecto viviendas. Las fachadas están moduladas de manera que en los puntos donde hay vuelos y conectan los puentes emergen de estos puntos diagonales estructurales.

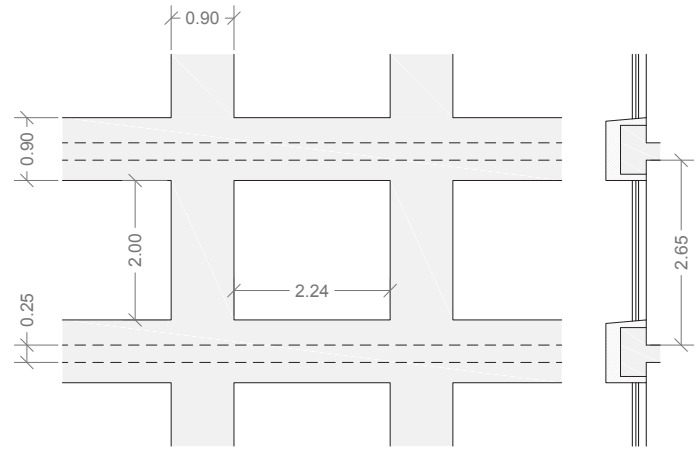


Fig. 12 Fachada Modular Linked Hybrid

DIMENSIONES

Huecos de ventana	2,20x2,40m
Canto de forjado	25cm
Altura total de planta	2,80m
Número de plantas	PB + 21 + 2 sótanos
Pilares interiores	48cm de ancho
Sección Horizontal en fachada	58x90cm
Luces máximas en fachada	12m
Sección Vertical en fachada	58x85cm
Porcentaje de Huecos	51%



INFORMACIÓN GENERAL

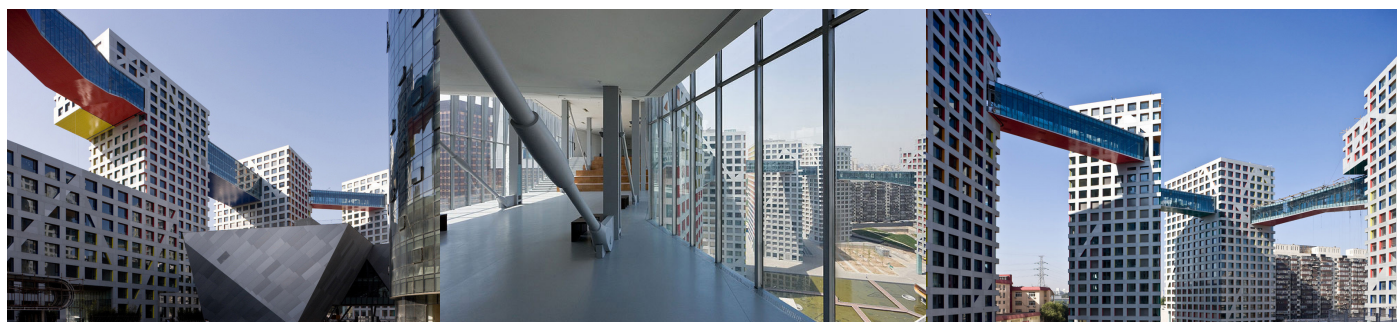
El proyecto de Linked Hybrid de Steven Holl toma los materiales que constituyó con el proyecto de Simmon's Hall y lo aplica al uso de la vivienda plurifamiliar a mayor escala, de ahí su parecido. El edificio se encuentra en Pekín, China y su construcción se completó en 2009. El proyecto consta con varias torres de aproximadamente 22 plantas, variando su número en algunas de las torres. Es un complejo de gran tamaño que ocupa 220.000m² con un programa de 644 apartamentos además de espacio público, zonas comerciales, cine, guardería, colegio y parking.

PROYECTO

Linked Hybrid surge del análisis de la tipología común en Pekín de generar zonas urbanas privatizadas como estrategia de crecimiento, de manera que se crea un proyecto abierto a la ciudad y en cierto sentido, poroso, reciclando el sistema estructural y visual de Simmon's Hall. Este carácter abierto se lleva a cabo a través de la creación de una plaza en la cota suelo que se abre a la ciudad, mientras que las viviendas se desarrollan en la vertical del proyecto. Las torres que recogen las viviendas son conectadas en las plantas superiores por una serie de pasarelas que forman otro espacio público de relación, de esta manera replicando el espacio que se ha creado en la cota suelo. Mediante esta idea el edificio lleva el concepto de apertura a otro nivel, donde se relaciona entre las distintas torres como un micro entorno urbano que se vuelca en sí mismo a la vez que se abre a la ciudad. En este proyecto la relación de huecos es más reducida, siendo un hueco por planta lo que compone los paneles.

El proyecto además de los puentes que conectan las torres también consta de vuelos que se asoman al espacio de la plaza y a la ciudad. Estos vuelos se consiguen a través de la modificación de los paneles Perforcon con diagonales que estabilizan y atan los vuelos con el resto de las torres, de esta forma se aprecia los huecos de los paneles que han sido hormigonados debido al refuerzo de perfiles que pasan por ellos. Dichos vuelos se han realizado en estructura metálica que se engancha mediante uniones a la estructura de hormigón de los paneles prefabricados existente.

Respecto al arranque de la fachada en algunos puntos los paneles son sustituidos por pilares que siguen las mismas líneas de los módulos que se llevan las cargas recogidas por la viga sobre la que apoyan dichos módulos. En el caso de las diagonales del proyecto, continúan en las plantas bajas mediante estructura metálica, de nuevo combinándose el hormigón prefabricado de los paneles con los pilares y vigas metálicos de refuerzo.



1.1 FICHA TÉCNICA SLICED POROSITY BLOCK

Sliced Porosity Block sigue la línea de los dos proyectos de Steven Holl sobre fachadas modulares portantes, en este caso, se plantean distintas torres que conforman el espacio a la cota de la calle como espacios públicos y comerciales, uniendo las torres por las plantas bajas, mientras que las plantas más altas son viviendas. Las complejas formas y vuelos de las torres hacen que en la fachada se produzcan diagonalizaciones más drásticas que en el proyecto de Linked Hybrid, dividiendo un mayor número de huecos y partiendo la fachada modulada.

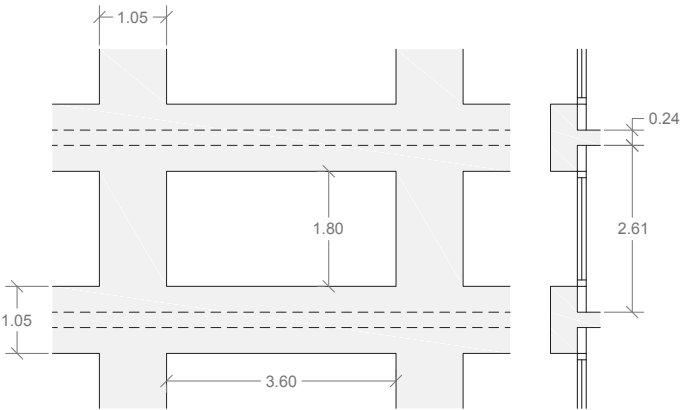


Fig. 13 Fachada Modular Sliced Porosity Block

DIMENSIONES

Huecos de ventana	3,60x1,80m
Canto de forjado	24cm
Altura total de planta	2,61m
Número de plantas	PB + 34 + 4 sótanos
Pilares interiores	48cm de ancho
Sección Horizontal en fachada	0,56x1,05m
Luces máximas en fachada	8,20m
Sección Vertical en fachada	0,42x105m
Porcentaje de Huecos	44%



INFORMACIÓN GENERAL

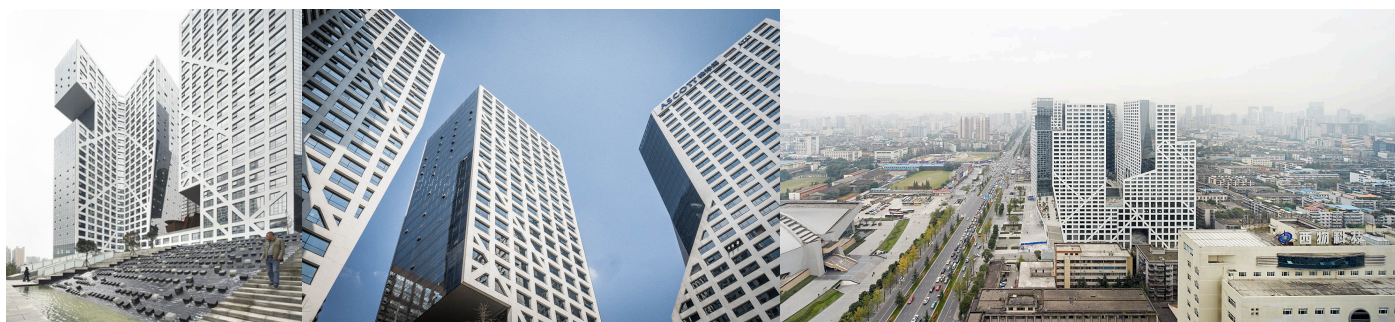
Se ubica en Chengdu, China donde Steven Holl lleva un paso más adelante el sistema constructivo respecto a Linked Hybrid y Simmon's Hall. En el año 2012 fueron terminados su millón de metros cuadrados de superficie, con 35 plantas de altura, en las cuales se reparten los usos de oficinas, viviendas, comercial, hotelero, restauración y plaza urbana. El proyecto se reparte en cinco torres que miran al espacio central de la plaza que sigue la misma idea que en Linked Hybrid donde se el conjunto crea su propio espacio público y se vuelca a los usos que contiene en su interior.

PROYECTO

A pesar de tener apariencias parecidas los tres proyectos presentados de Steven Holl hemos encontrado claras diferencias y evoluciones cronológicas en los mismos, sin ser Sliced Porosity Block una excepción en este hecho. Sigue los pasos de Linked Hybrid respecto a "micro-urbanismo", debido a que no hay espacio en la Chengdu para acoger sus usos, el proyecto lo crea y lo rodea. Las torres se unen a través de las plantas bajas mientras que en las plantas superiores se separan y pierden su carácter abierto.

La diferencia que vemos con los proyectos anteriores de Steven Holl es que las fachadas moduladas no son la norma absoluta, sino que estas se abren a muros cortina en las fachadas que no dan al interior ni al exterior, es decir las fachadas que miran a las otras torres. De esta manera se consigue el aspecto de que los bloques son cortados, contrastando la rigidez de las fachadas moduladas con la ligereza y transparencia de los muros cortina.

Además del aspecto visual del proyecto, los módulos de fachada se diferencian en el hecho de que las torres pierden la forma regular de la que constaban en proyectos anteriores, se abren huecos y tuercen las torres en muchos puntos, recurriendo a largas diagonales estructurales que compensan dichos movimientos. Se encuentra también que la fachada modulada varía con la planta baja, respetando los huecos y el ritmo de toda la fachada pero siendo de mayor altura, como la propia planta baja, estirando el hueco existente. Este hecho, junto a los grandes tirantes diagonales, nos dejan patente que el proceso de prefabricación y de módulo no queda tan patente como en los proyectos anteriores, puesto que la irregularidad de la fachada es más marcada. En algunas partes del edificio la estructura se basa en la fachada, puesto que no hay estructura interior exceptuando los núcleos de escalera y los pasillos interiores, siguiendo el concepto de arquitectura exoesquelética.



1.1 FICHA TÉCNICA TOUR TOTAL BERLIN

La torre Tour Total se forma a través de tres capas prefabricadas que se juntan para formar el grosor total de la fachada. Estas tres capas son los módulos estructurales, la capa de carpinterías y aislamiento y la capa de estabilidad que ata el conjunto. La torre ha sido desarrollada en fachada mediante unas formas triangulares variantes que emergen alternadamente, dando la sensación a la vista de que la torre fluctúa y generando así interacciones con la luz que proyecta sombras que deforman y resaltan la percepción del edificio en su verticalidad.

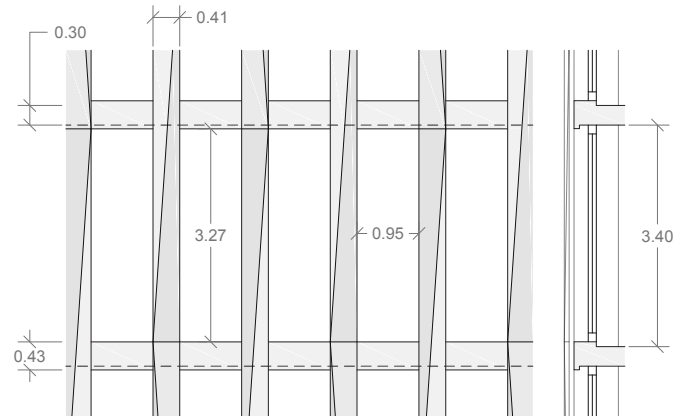


Fig. 14 Fachada Modular Tour Total

DIMENSIONES

Huecos de ventana	0,95x3,27m
Canto de forjado	30cm
Altura total de planta	3,40m
Número de plantas	PB + 17 + 3 sótanos
Pilares interiores	51x51cm
Sección Horizontal en fachada	41x83cm
Luces máximas en fachada	2,30m
Sección Vertical en fachada	43 x68cm
Porcentaje de Huecos	56%



INFORMACIÓN GENERAL

La torre se ubica en Berlín, Alemania y fue construida por el arquitecto local Barkow Leibinger. Su construcción fue terminada en 2012, siendo el primer edificio construido del plan para organizar el norte de Berlín alrededor de la estación principal de Heidestrasse. El proyecto cuenta con 28.000 metros cuadrados de superficie generales, además de los 18.000 metros cuadrados que contiene por planta, de las 18 plantas en total que tiene. El uso que contiene es exclusivamente oficinas, exceptuando la planta baja donde tenemos el vestíbulo con el acceso y la cafetería que sirve a todo el edificio.

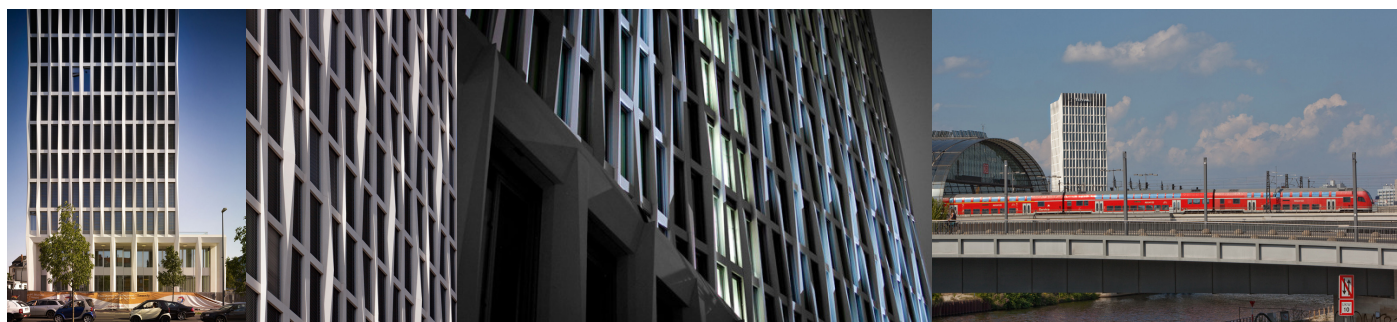
PROYECTO

El proyecto parte del plan Europacity donde se destinan 400.000 metros cuadrados a un campus de las artes, residencias, viviendas, un puerto y oficinas. Siendo el proyecto de la Tour Total el primero en construirse, es visto como portada y referencia del conjunto del plan.

El proyecto parte de la idea de general un edificio eficiente desde el punto de vista energético, puesto que la empresa que lo ocupa es la empresa energética francesa Total. De esta manera se idea el edificio para que la fachada sea un compuesto de varias piezas que protegen y liberan el interior de la planta. Esto se consigue a través de la modulación de la estructura en la cara interior de la fachada, estando en sintonía con la capa de carpinterías y aislamiento, además de la capa de atado y estabilidad frente al viento. Esta última capa es diseñada de manera que se compone de dos piezas reconocibles, módulos en K y módulos en T.

Los módulos en T se colocan sobre la capa de carpinterías, estando las tres capas conectadas transversalmente, de manera que tejen una matriz en la fachada sobre la que se colocan los módulos K, los cuales constan cada uno de tres planos que suben y bajan dando la sensación de envolver el edificio. Estos módulos se repiten de manera diagonal a lo largo de las fachadas, lo que le da al edificio el movimiento y la fluctuación de la fachada que resalta en vertical.

La estructura del edificio en este caso no es tan aparente en la fachada puesto que consta de las piezas de estabilización, sin embargo el ritmo de la fachada y de los huecos si permanece constante en toda la fachada, realizando la cuadrícula que soporta la estructura del edificio junto a lo espacios interiores de la torre, dónde el núcleo es portante, dejando libre el espacio de oficinas.



1.1 FICHA TÉCNICA CIUDAD DE LA JUSTICIA DE BARCELONA

La ciudad de la Justicia de Barcelona se compone de un programa extenso que consta de un total de 9 edificios, estando cuatro de ellos conectados por la planta baja. Los edificios varían en sus dimensiones, de manera que las fachadas varían respectivamente, resultando en una proporción de huecos distinta según el edificio. Los edificios se han construido de la misma forma, unos módulos de encofrado prefabricados para hormigonar las fachadas los cuales son reutilizados en el proceso.

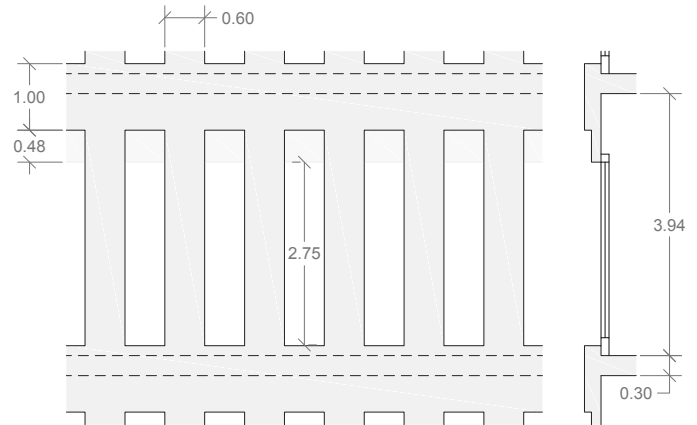
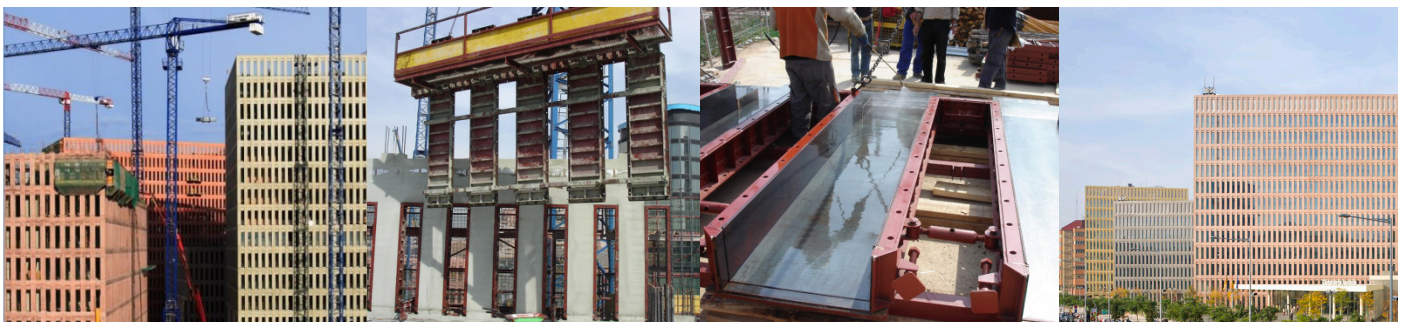


Fig. 15 Fachada Modular Ciudad de la Justicia BCN

DIMENSIONES

Huecos de ventana	0,60x2,76m
Canto de forjado	30cm
Altura total de planta	3,84m
Número de plantas	PB + 14 + 2 sótanos
Pilares interiores	42 de ancho
Sección Horizontal en fachada	37x60cm
Luces máximas en fachada	1,75m
Sección Vertical en fachada	0,37x1m
Porcentaje de Huecos	28%



INFORMACIÓN GENERAL

El proyecto se encuentra en Barcelona, finalizando su construcción el año 2007. El arquitecto es David Chipperfield, que proyectó un total de 240.000 metros cuadrados que componen los 9 edificios, cuyo programa antes se encontraba dividido en 17 edificios repartidos entre dos ciudades distintas. El proyecto se sitúa al borde de Barcelona, rozando con L'Hospitalet, con un número máximo de 15 plantas que varía hasta un mínimo de 8 plantas. Cada uno de los edificios está tratado con hormigón con pigmentos en la masa, de manera que cada uno tiene un color distinto que lo diferencia del conjunto.

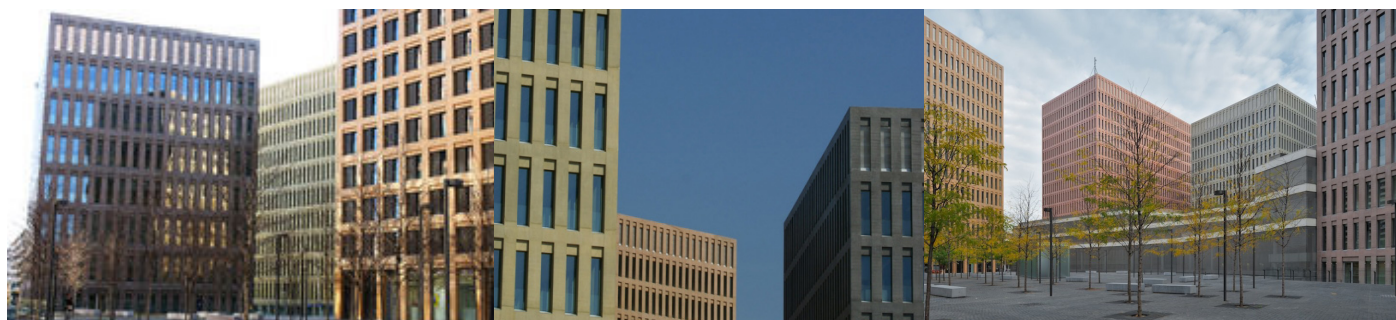
PROYECTO

El proyecto toma el espacio como una plaza sobre la que los bloques se disponen de manera alternada para darle movimiento y versatilidad a los espacios y las vistas que forman los bloques dentro de la vista ecléctica de los edificios de alrededor. Al tener un programa tan amplio nos encontramos con muchos edificios de oficinas, de manera que se destinan a los bloques aislados, mientras que los usos de mayor entidad como son los juzgados son los bloques que se encuentran unidos en la planta baja.

La idea de proyecto trata de crear un aire de solemnidad al conjunto de edificios puesto que el uso lo requiere, por un lado la disposición de los bloques trata de aliviar la rígida imagen de la justicia, pero por otro lado el tratamiento de la fachada se trata como una malla uniforme para diferenciar todo el proyecto. El ritmo de la fachada se mantiene uniforme en cada bloque, permaneciendo constante incluso en planta baja.

La fachada se utiliza como elemento portante, salvando la primera de las tres luces que encontramos en varios de los bloques, mientras que en otros se organiza la estructura de manera transversal a la planta en pórticos de cuatro luces, de manera que el papel de la estructura en la fachada es menor que el resto de casos revisados.

Respecto a la prefabricación de la fachada es más un proceso que una finalidad, puesto que es utilizada para la formación de la fachada, pero la mayoría del proceso de construcción es realizado in situ, de manera que en comparación con otros casos revisados la modulación de la fachada en este caso proviene de la modulación de los encofrados para el vertido de hormigón, teniendo cada bloque según sus dimensiones varios encofrados prefabricados con los que ir formando la fachada.



1.1 FICHA TÉCNICA EDIFICIO PICASSO SEVILLA

El edificio de la Conserjería de Fomento y Vivienda se ubica en el entorno de Santa Justa, en la calle Picasso, de ahí el nombre por el que se le suele conocer. Los cuerpos edificatorios donde residen las oficinas se cruzan formando los núcleos húmedos y de escaleras, estando fuera de estos los espacios diáfanos de oficina de una luz de 12,40m sin pilares entre ellos, soportando las cargas totales la fachada. De esta manera vemos como la estructura del edificio está concentrada en la fachada modulada, realizada in situ, con cubierta inclinada para esconder instalaciones.

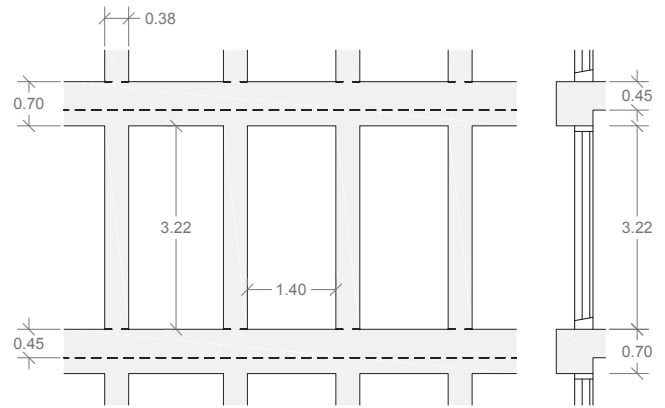


Fig. 16 Fachada Modular Edificio Picasso

DIMENSIONES

Huecos de ventana	1,40x3,22m
Canto de forjado	45cm
Altura total de planta	3,45m
Número de plantas	PB + 7 + 4 sótanos
Pilares interiores	No consta
Sección Horizontal en fachada	38x58cm
Luces máximas en fachada	1,40m
Sección Vertical en fachada	58x70cm
Porcentaje de Huecos	59%



INFORMACIÓN GENERAL

El último caso de estudio se encuentra en Sevilla, realizado por Cruz y Ortiz en la calle Picasso, de ahí su nombre. Fue terminado en 2015 ocupando una superficie total de 41.300 metros. El edificio contiene la Conserjería de Fomento y Vivienda de la Junta de Andalucía, de manera que los espacios están ocupados principalmente por oficinas. El proyecto consta de 8 plantas, siendo la planta superior de mayor tamaño para ocultar las instalaciones del proyecto en la cubierta. Además de oficinas también consta de un sala de audiencias, que se encuentra conectada por el vestíbulo.

PROYECTO

Una de las premisas que tenía el proyecto por parte del cliente era que la iluminación de edificio fuera todo lo más natural posible, de manera que las fachadas son lo más transparentes posibles con perfiles entre los huecos de un tamaño justo para maximizar la entrada de luz. Además de este aspecto, Cruz y Ortiz plantean el edificio de manera que no haya estructura interior, sino que la estructura de la fachada sea suficiente para suplir una medida de 12,40m entre fachada y fachada. Por esta razón, el edificio se divide en bloques longitudinales que confluyen en el interior de la parcela en dos núcleos de escaleras y de aseos que si están limitados por estructura, en comparación con las zonas de oficinas que están exentas de fachada a fachada.

Vemos por tanto como la estructura del edificio es de tipo exoesquelética, exceptuando el núcleo de escaleras y ascensores donde convergen los bloques, una estructura que se ha desarrollado modulando la fachada para luego ejecutarla mediante hormigón armado in situ siguiendo una retícula que solo se modifica en la planta superior. Los bloques longitudinales que tocan los bordes de la manzana quedan alineados con la misma, definiendo de manera óptima para la calle las alineaciones con los edificios vecinos, mientras que los ángulos que se forman entre los bloques crean espacios abiertos o espacios cerrados según su posición que se aprovechan como espacio verde y como el espacio de acceso a través de una zona de sombra.

Otro de los aspectos a tener en cuenta en el edificio que se ha desarrollado es la presencia y el carácter que debe tener un edificio público, algo que se consigue con la geometría cambiante de la planta frente a la uniformidad de la fachada modulada, que como hemos visto en el resto de casos debe ser tratada para identificar la zona de acceso, en este caso siendo una cubierta sobre la planta baja.



6. MODELO DESARROLLADO

Los edificios estudiados constan del mismo tipo de fachada, fachadas moduladas portantes, sin embargo las desarrollan de distintas maneras, por ejemplo tomando el primer edificio Simmon's Hall y la Ciudad de la Justicia de Barcelona observamos como el planteamiento de huecos varía drásticamente, en el primero nos encontramos con una retícula de huecos, con tres huecos por planta mientras que en el proyecto de la ciudad de la justicia se organiza con un hueco por planta y ejecutado por procesos constructivos distintos, contando el primero de una actividad en taller mayor y otro con una mayor presencia in situ. Por lo tanto se observa que el sistema de fachada modulada portante tiene un gran baremo de posibilidades de realización, algo que se ha querido mostrar a lo largo del análisis, partiendo de los proyectos enlazados de Steven Holl a la arquitectura local de Sevilla de Cruz y Ortiz.

Con esta premisa se han tomado algunos de los valores que se han expuesto durante el análisis para comentar su correlación entre los distintos proyectos. Respecto a los huecos de la fachada vemos que establecen las luces a salvar entre la estructura de la fachada, siendo un valor que varía en las obras estudiadas de 60 centímetros de ancho (ciudad de la justicia) hasta 3,60 metros (Sliced Porosity Block), lo que no implica que sean los que tienen un menor y mayor porcentaje de huecos respectivamente, puesto que vemos que el que mayor porcentaje de huecos tiene es el edificio Picasso con un 59% de la fachada sin estructura, debido a que el hueco aprovecha más la altura de la planta que en el proyecto de Sliced Porosity Block. Se aprecia que dicho factor viene condicionado por el hecho de que los usos de los edificios son distintos, siendo uno de viviendas donde la ventana es un elemento más privado que en las oficinas, condicionando el diseño del módulo estructural por una cuestión funcional. Encontramos contrastes si nos fijamos en la referencia con el mayor número de plantas y el menor número de plantas, siendo estos el proyecto de Sliced Porosity Block y el edificio Picasso respectivamente, algo que tiene sentido puesto que las dimensiones de las que consta el primero son muy superiores a las que encontramos en el edificio de Cruz y Ortiz, con un grosor de fachada de la estructura de más de un metro mientras que los pilares que vemos en el edificio Picasso son de 38 centímetros, aún así siendo las dimensiones de estructura más reducidas las que encontramos en Simmon's Hall, con secciones de 29 centímetros que sin embargo cuenta de un mayor número de secciones en la fachada y por módulo, descomponiendo la transmisión de cargas con su retícula de huecos de 3x3.

El aspecto en el que mayor variación se ha encontrado es en las medidas de los pilares interiores en la planta. Dicho valor depende directamente de la geometría de la estructura y del edificio, por ejemplo vemos como en el caso de los proyectos de Steven Holl tenemos elementos estructurales interiores apantallados, con un ancho común que rodea los núcleos de conexión y los pasillos interiores, con pilares puntuales en esquinas, mientras que en el proyecto de la ciudad de la justicia de Barcelona encontramos una gran cantidad de pilares en el interior del edificio, siendo la disposición más común de los pórticos de 5 luces que condicionan los espacios de oficina del edificio. Por otro lado, vemos que el proyecto de Cruz y Ortiz mediante la proyección de una geometría irregular en alas que se cruzan en los núcleos de conexión permite una estructura en las alas exenta de pilares interiores, lo que deja el espacio de las oficinas abierto a todas las disposiciones posibles, además de darle flexibilidad al edificio en el sentido de que en el futuro tiene opción de destinarse a otro uso sin tener limitación de espacios por la estructura interior. El sistema estructural realizado en el edificio Picasso prueba a ser el más eficiente

respecto al aprovechamiento de la estructura en fachada modulada, siendo capaz de realizar una estructura exoesquelética ayudada por estructura en los núcleos de conexión en la convergencia de las geometrías de sus distintas alas, por lo que se han extraído los datos de sus plantas a través de las cuales se plantean algunas posibilidades estructurales del modelo estudiado.

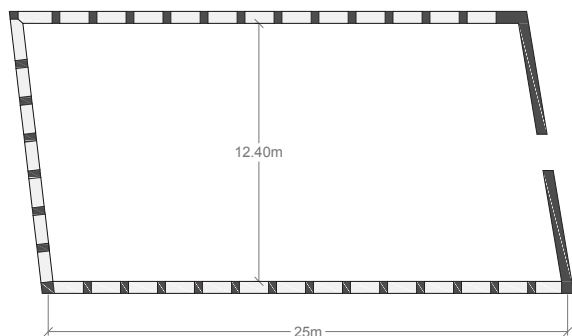


Fig. 17 Esquema sistema estructural Edificio Picasso

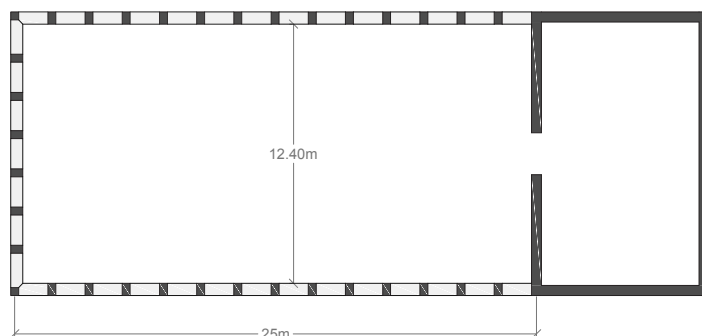


Fig. 18 Esquema sistema estructural simplificado Edificio Picasso

Se han extraído las dimensiones del edificio Picasso y se han ajustado a una geometría regular en vez de la original del proyecto de ángulos para poder aplicarla a distintas variaciones estructurales. Vemos como la planta original cuenta del bloque exoesquelético donde no hay estructura interior hasta que llegamos al núcleo de conexión, el cual solo consta de apertura para el acceso, siendo un elemento rígido vertical que estabiliza el edificio a la vez que soluciona los huecos de escaleras y ascensores. Extraemos la conclusión de que un edificio completamente exoesquelético plantea una problemática a la hora de resolver las conexiones verticales en el edificio, de manera que el modelo de estructura que se extrae de dicha conclusión es una estructura de fachada modulada portante la cual en cierto punto esté estabilizada mediante las conexiones verticales del edificio o similares.

A través de las referencias analizadas y de las dimensiones extraídas se realizan algunos esquemas de propuestas de aplicación de fachada moduladas portantes a través de hormigón prefabricado siguiendo las conclusiones que han sido extraídas.



Fig. 19 Esquema sistema estructural de dos núcleos

El esquema estructural presentado consta de una crujía de 12 metros aproximados, siendo la mayor longitud que puede abarcarse entre fachadas, con los lados longitudinales del volumen como fachadas moduladas portantes con dos núcleos que rematan los extremos .

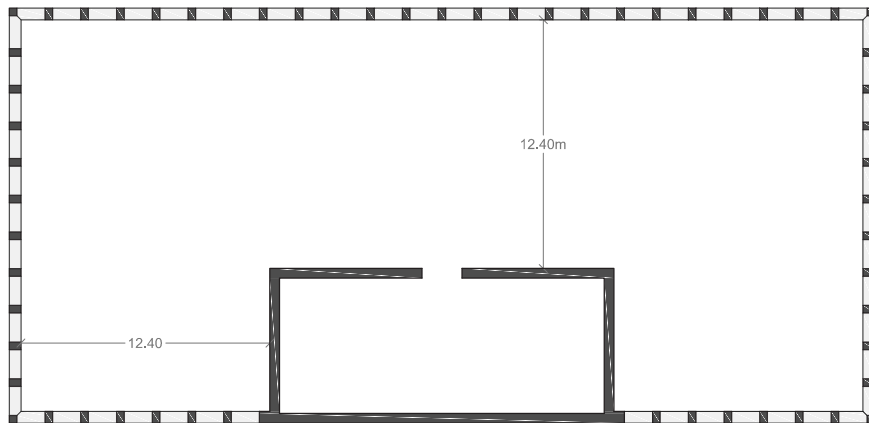


Fig. 20 Esquema sistema estructural con un núcleo.

Otro de los posibles esquemas en los que se podría organizar una estructura de fachada modulada es con un elemento vertical de conexión colocado en el centro de uno de los lados longitudinales, sirviendo de núcleo alrededor del cual se despliegan los espacios diáfanos necesarios para el programa.

Como estos se pueden realizar infinidad de casos en los que una estructura modulada en fachada en muchos casos puede resolver los proyectos de manera más eficaz que con estructura de pilares interiores con un número sobredimensionado de crujías que reduce el potencial del edificio por los espacios restringidos por la estructura.

Otro aspecto de este modelo estructural es el encuentro con la planta baja, debido a que al estar la fachada compuesta por módulos, éstos pueden restringir la apertura de huecos mayores en el acceso al edificio. Según las referencias que se han analizado encontramos soluciones como no variar los módulos en la planta de acceso, sin embargo otras soluciones se basan en la modificación de las piezas que componen la estructura en planta baja, como en Tour Total donde el ritmo de la fachada de las plantas superiores se dobla y hace que los huecos en la planta de acceso sea equivalente a la distancia de dos ventanas de las plantas superiores. Para esta solución se necesitaría tener una viga de mayor entidad en el encuentro con la planta baja sobre la que se apoyen los módulos superiores de la estructura.

Una vez que se ha definido el modelo estructural y se han debatido sus variables, se pasa a aplicar el modelo a una estructura existente. El edificio sobre el que se aplica el modelo es la Tecnoincubadora Marie Curie en la Cartuja, Sevilla, realizada por el estudio TRIDARQ, Trianera de Arquitectura, completado en 2009. Dicho proyecto ha sido elegido debido a que tiene unas crujías menores a 12 metros de longitud con un núcleo de escalera y de ascensor, además de un hueco que relaciona de manera vertical el edificio, que consta de una estructura de pórticos con pilares interiores los cuales influyen en los espacios de oficinas, por lo que se busca aplicar el modelo desarrollado para comprobar el los cambios que se producen en el edificio.

7. CASO PRÁCTICO

Para aproximarnos al modelo de fachada estructural se analiza la estructura existente del edificio escogido para poder elaborar el modelo para insertar en el programa SAP2000 para hacer ensayos con distintas dimensiones.

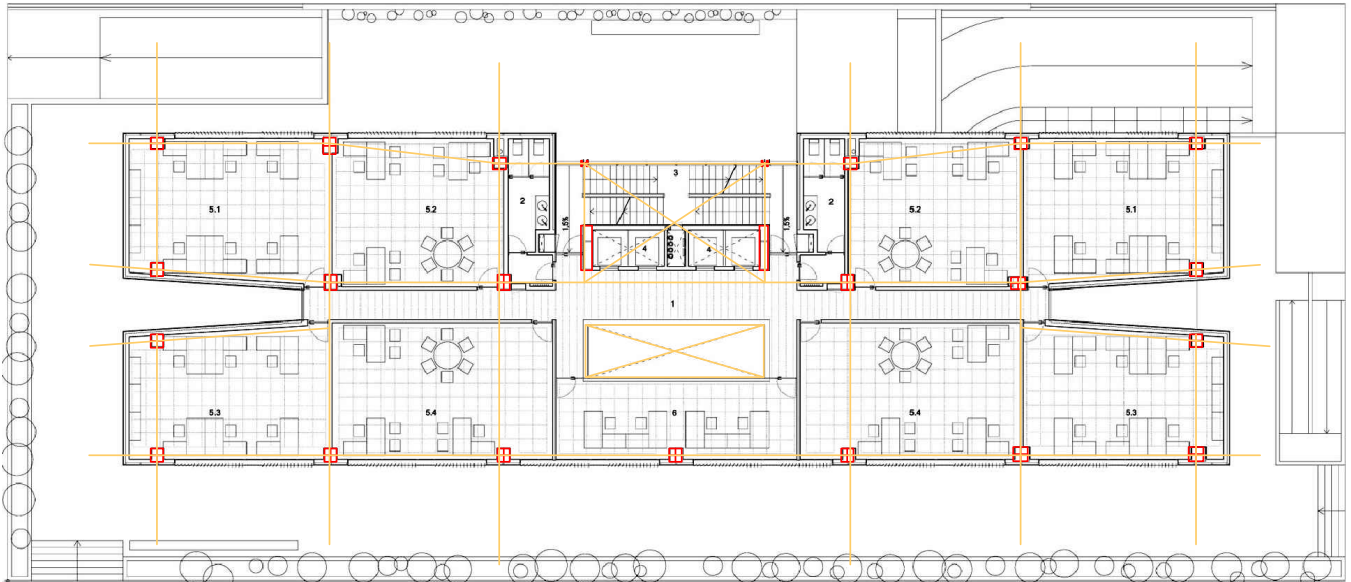


Fig. 21 Tecnoincubadora Marie Curie, líneas de carga

La planta del edificio consta de dos crujeías, una crujeía mayor que abarca el pasillo de conexión con el núcleo de escalera y de ascensores y la crujeía menor en la que se encuentra colocado en el centro dicho núcleo. La crujeía mayor tiene una distancia entre pilares de 7,70 metros, mientras que la menor es de 6,20 metros, medidas que al ser un total de casi 14 metros no se podrían cubrir con una estructura exoesquelética de fachada, por lo que se plantea la fachada con el núcleo interior portante, resultando en toda la envolvente de la fachada siendo portante y con un vano interior de estructura.

Este modelo permite unificar los pilares que encontramos pegados a la envolvente de manera que no se metan en los espacios de las oficinas debido a que los cerramientos serían uniformes.

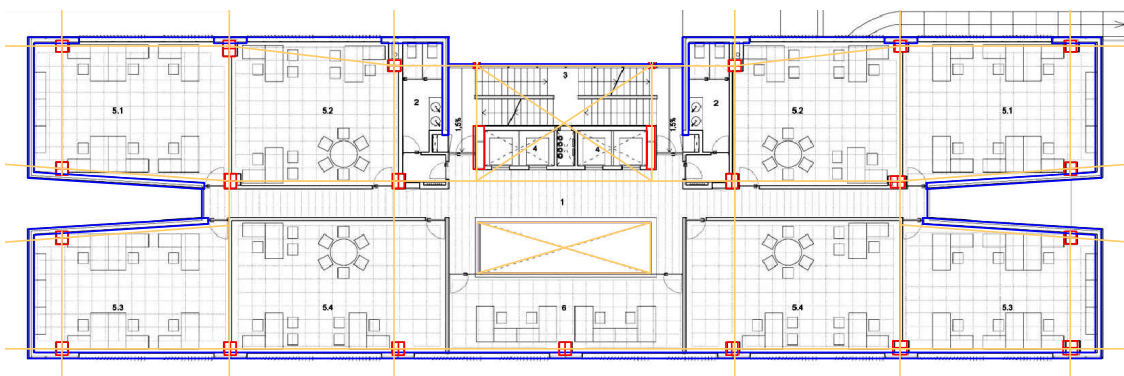


Fig. 22 Tecnoincubadora Marie Curie, Envolvente y estructura

Como podemos observar en el esquema realizado en base a la planta, la estructura en algunos puntos no está alineada con la fachada, de manera que en algunos de vuelos se plantea la estructura modulada alineada siempre a la línea exterior del edificio.

Respecto a las dimensiones de los elementos estructurales se han realizado varios ensayos con variaciones en sus medidas para ver como se comportaba el edificio en sus 6 planta y así comparar las medidas mínimas de pilares y vigas, con las medidas que encontramos en la referencia del edificio Picasso de Cruz y Ortiz. Como introducción al edificio además se ha insertado parte de la fachada original del proyecto con su estructura para detectar como cargan los elementos estructurales del mismo.

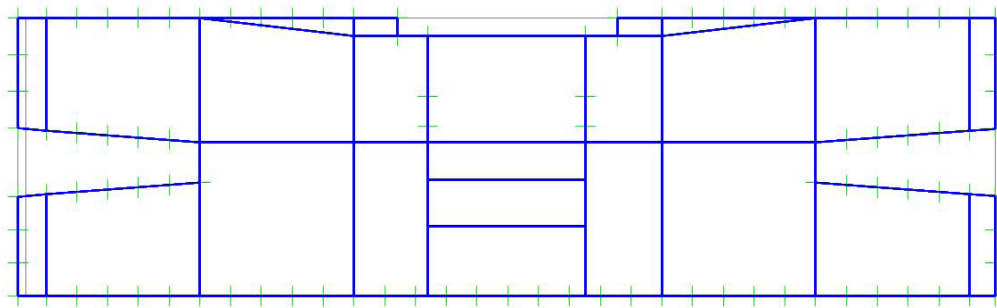


Fig. 23 Diagrama de estructura del forjado elaborado

Los ensayos que se han realizado pretenden acercar de manera superficial el modelo estructural estudiado a la realidad como punto de partida en la aplicación de fachadas realizadas a través de la modulación de su estructura como una herramienta y una percepción del hormigón que abra la puerta a distintos proyectos que no se ajustan del todo a los modelos rígidos exclusivos de realización en obra de la estructura de hormigón. Después de la introducción de los ensayos que se detallan en el apartado anexos se llegan a las siguientes conclusiones:

- Al tener la particularidad formal de las dos incisiones laterales, el edificio se encuentra bastante condicionado geométricamente para la realización del vano interior, puesto que el ancho del pasillo impide que se realicen dos pórticos interiores de carga, resultado en una disposición de cargas de mucha entidad en el interior.

- Las fachada estructural modulada cumple sobradamente la transmisión de cargas en las caras exteriores, sin embargo en el interior con las dimensiones mínimas y las dimensiones extraídas de las referencias es necesario sobredimensionar las vigas y pilares para que la estructura cumpla.

- La mayor problemática de esfuerzos que encontramos es en el encuentro entre los huecos del núcleo principal y la fachada estructural, debido a que el núcleo de conexión divide la fachada en dos, creando excentricidades entre la estructura reticular de la fachada modular con la estructura con la que se soporta la escalera y se abren los huecos verticales.

- La gran cantidad de secciones que se plantea con este sistema es un factor importante, es decir el porcentaje de huecos, puesto que cuanto menor sea este porcentaje más carga introducimos en el edificio.

8. ANEXO

Antes de realizar la primera aproximación a la realidad del modelo estudiado se adjunta las capturas del programa de visitar el caso del edificio con su estructura original en la fachada principal. Dicha fachada se ha introducido solo con la mitad de las plantas del edificio total puesto que es solo un punto de partida para los ensayos con el nuevo modelo.

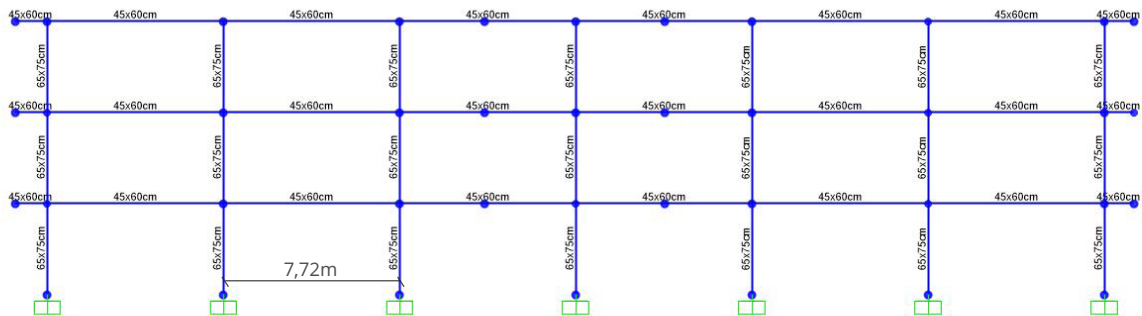


Fig. 24 Diagrama pórtico original

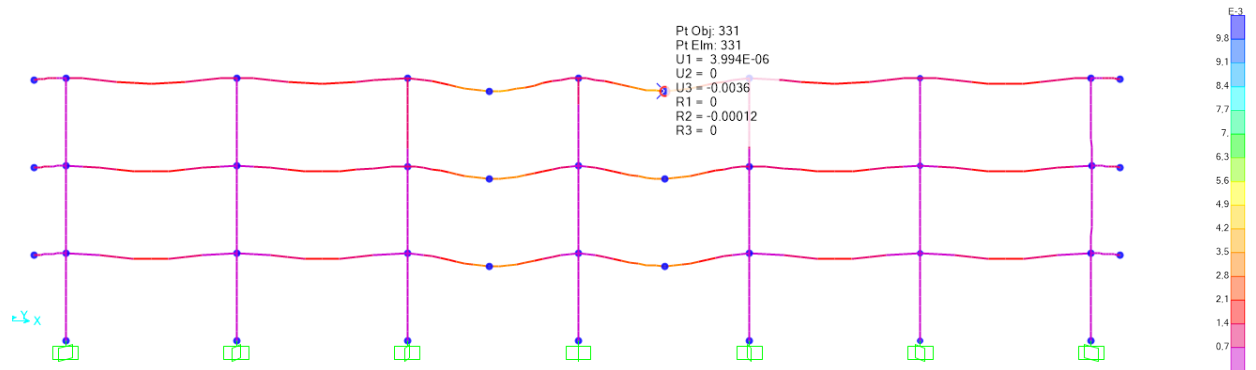


Fig. 25 Diagrama deformada original

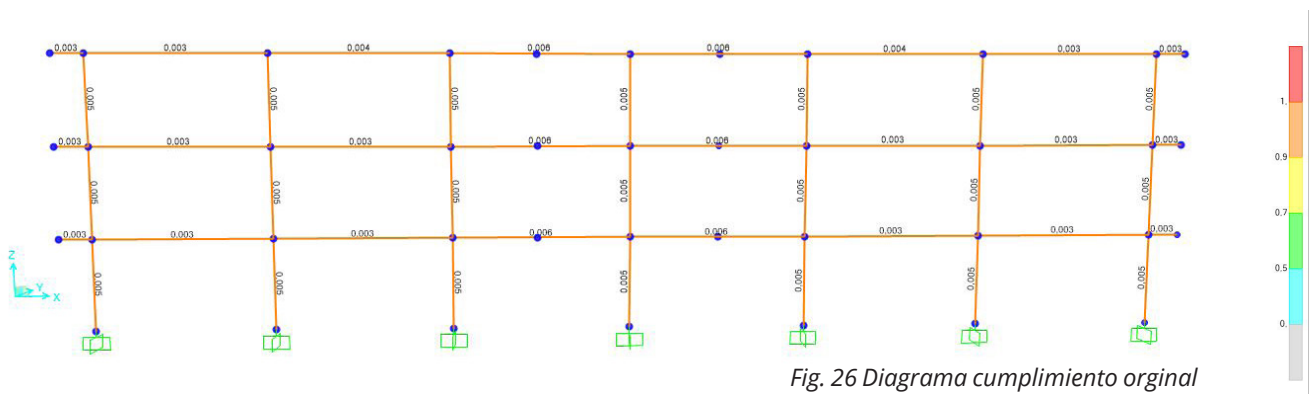


Fig. 26 Diagrama cumplimiento original

CASO DE DIMENSIONES MÍNIMAS

La primera aplicación del modelo a un caso real se realiza a partir de unas medidas de pilares y de vigas mínimas de 25x25cm de hormigón de manera que sirva de aproximación a el modelo desarrollado adaptado al edificio original que se ha realizado en Autocad con unos huecos de ventana de 1,40 a 1,60 de ancho de forjado a forjado, ajustándose a las dimensiones de las fachadas existentes. Una vez introducido el modelo se le han aplicado las cargas gravitatorias del peso propio (Forjado + Suelo + Tabiquería) además de la carga de sobrecarga.

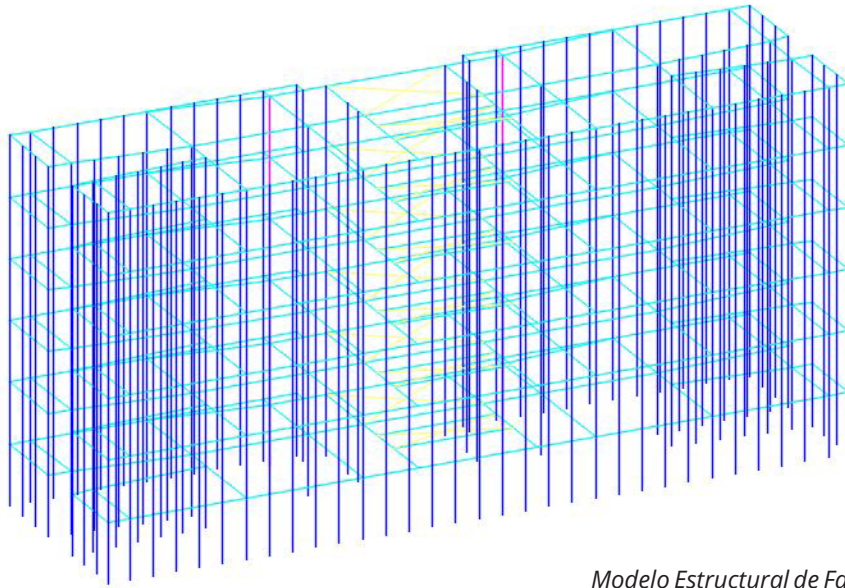


Fig. 27

Modelo Estructural de Fachada Modulada aplicado.

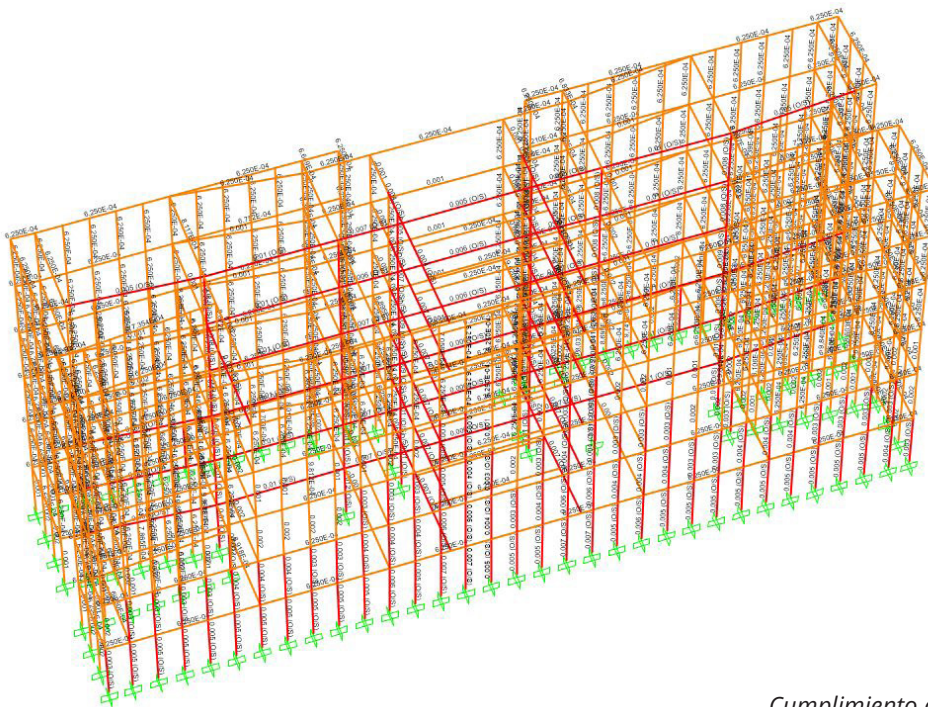
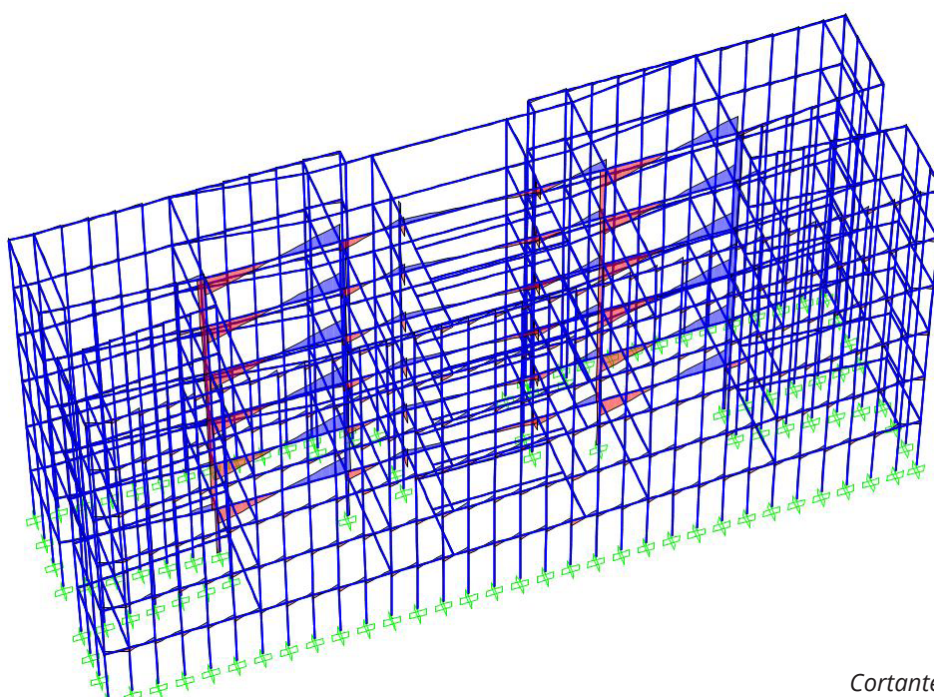
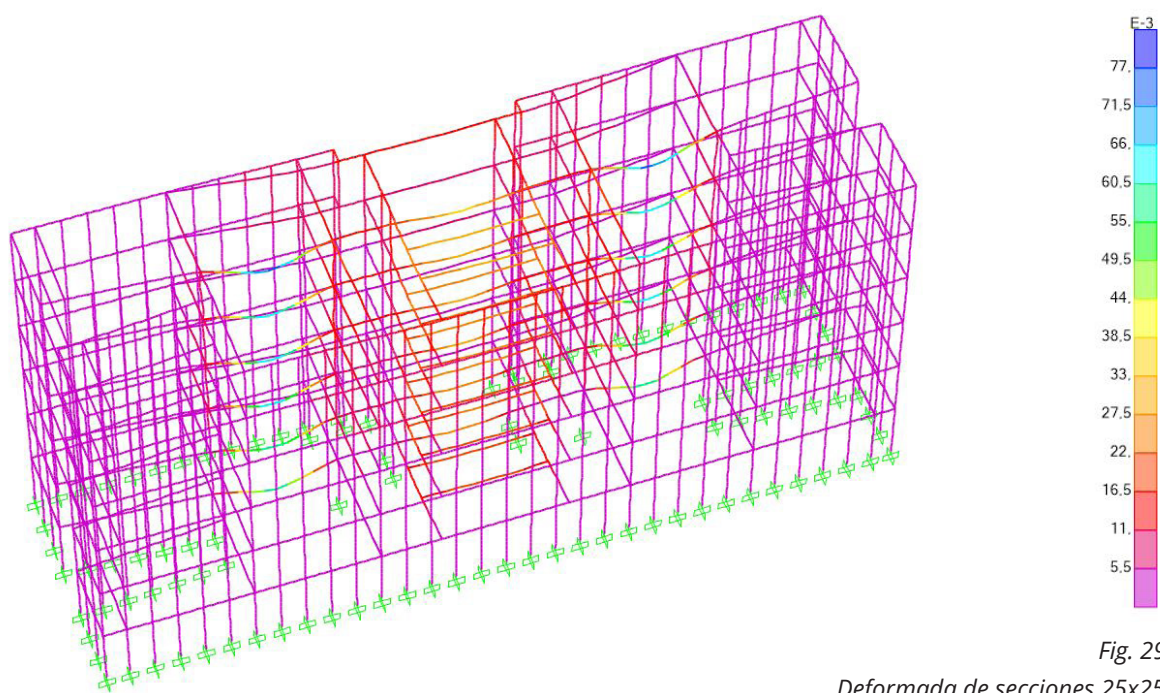


Fig. 28

Cumplimiento de secciones 25x25cm .

Se observa que las fachadas cumplirían exceptuando los pilares de la planta baja, además del pórtico interior que el que mayor carga soporta, influyendo a las vigas que rodean los huecos que se apoyan en la fachada.



CASO DE DIMENSIONES EDIFICIO PICASSO

Para este caso se toman las medidas de la estructura de la referencia estudiada de Cruz y Ortiz, constan de una medida de pilares en la fachada con 38x38 centímetros mientras que en el interior se utilizan pilares apantallados de 25x100cm para puedan asimilarse en las oficinas. Para las vigas se les asigna una medida de 30x40cm.

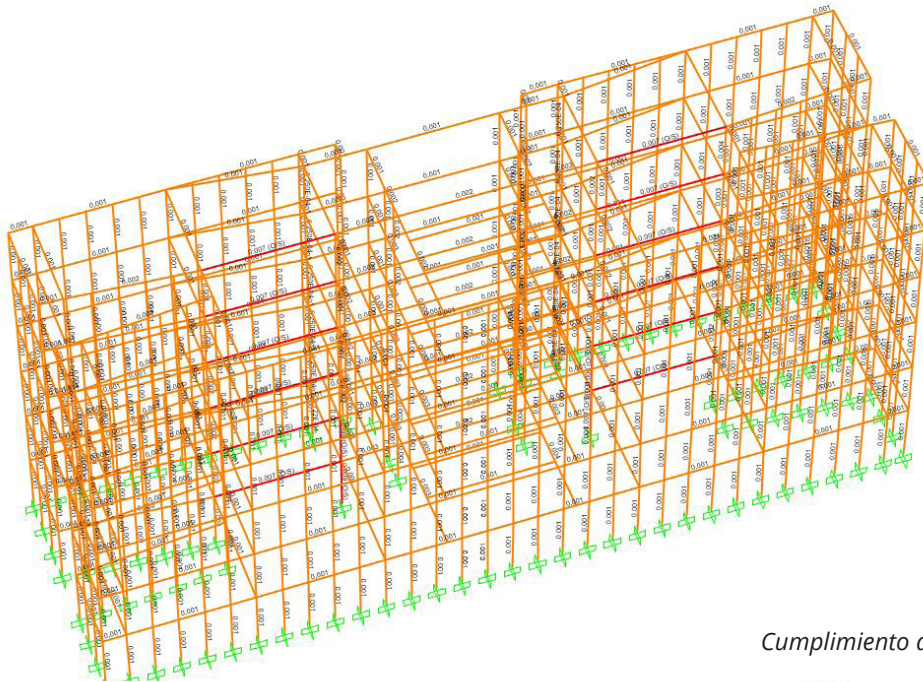


Fig. 31

Cumplimiento de secciones 38x38cm.

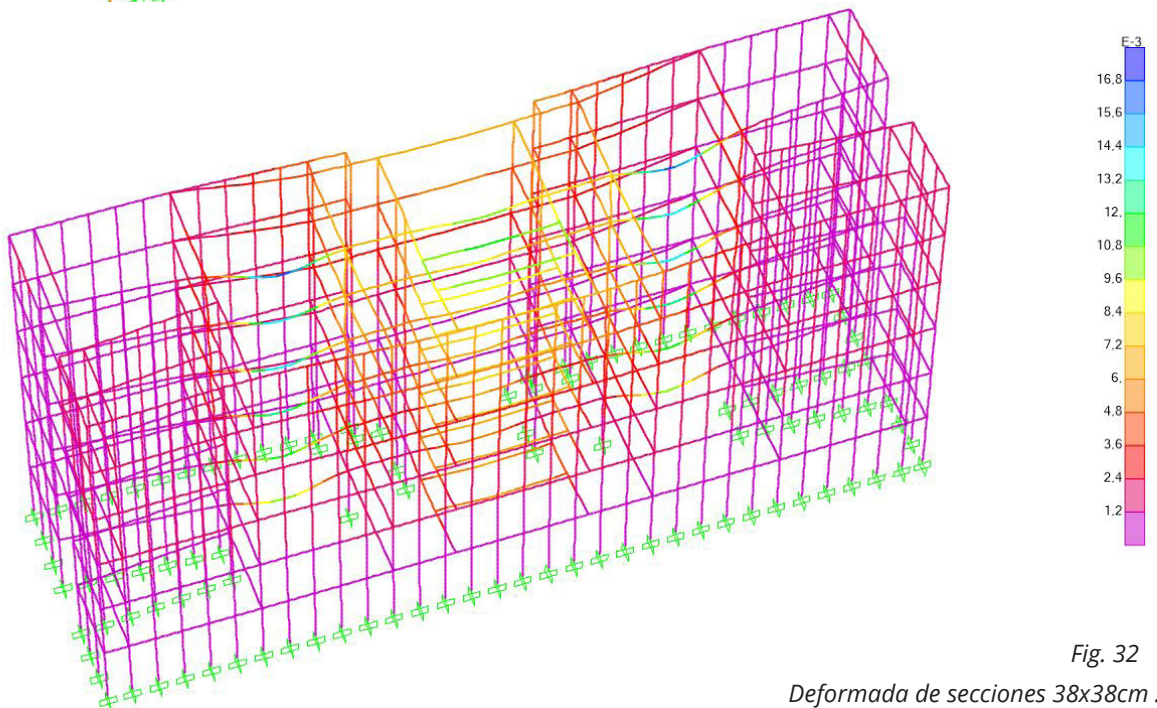


Fig. 32

Deformada de secciones 38x38cm .

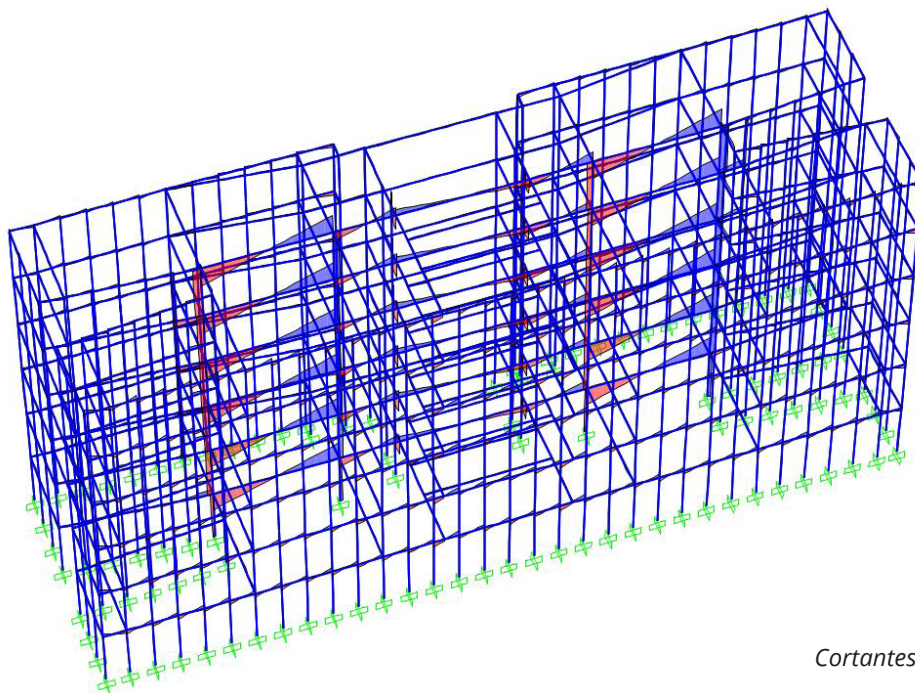


Fig. 33
Cortantes de secciones 38x38cm.

Respecto al cumplimiento vemos que la mayoría de perfiles cumplen, sin embargo en el pórtico interior no cumplen las vigas y los pilares apantallados en planta baja. Se observa que el esquema de deformación resulta con valores mucho menores, teniendo en primer ensayo valores que llegan a 77, mientras que ahora el tope que tenemos es de 16,5.

CASO DE SOBREDIMENSIONADO

En este caso se aumentan todos los perfiles de manera proporcional, tanto las vigas que no cumplen en el interior del edificio como los pilares de la fachada que ya cumplían para ver los efectos que tiene la sobrecarga de estructura y de hormigón en el edificio. Por lo tanto, los pilares aumentan a 45x45cm y las vigas a 40x50cm, además de reajustar los pilares apantallados a 30x80cm puesto que no cumplían con las dimensiones previas.

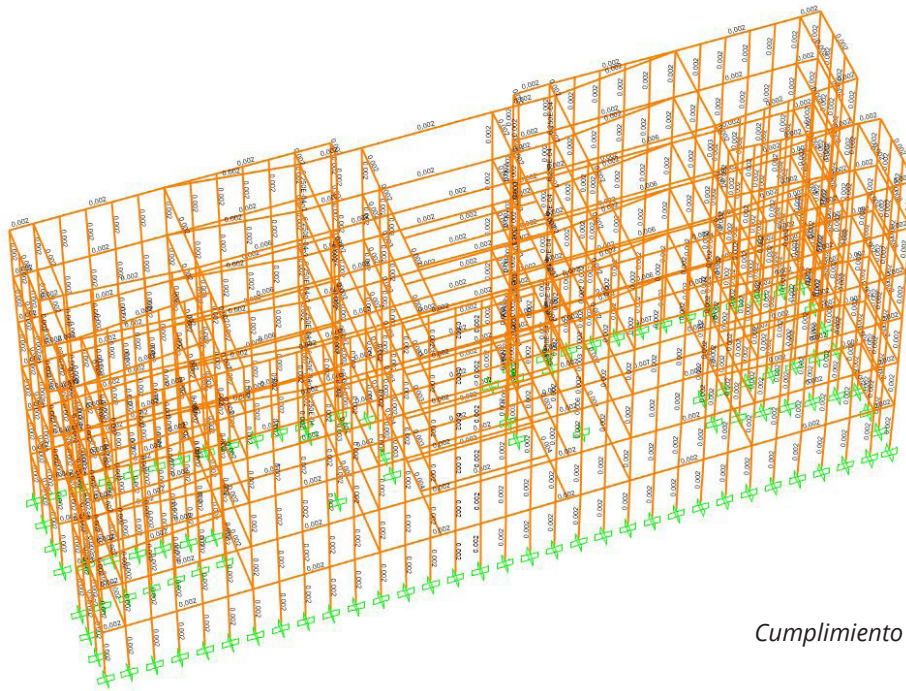


Fig. 34

Cumplimiento de secciones 45x45cm.

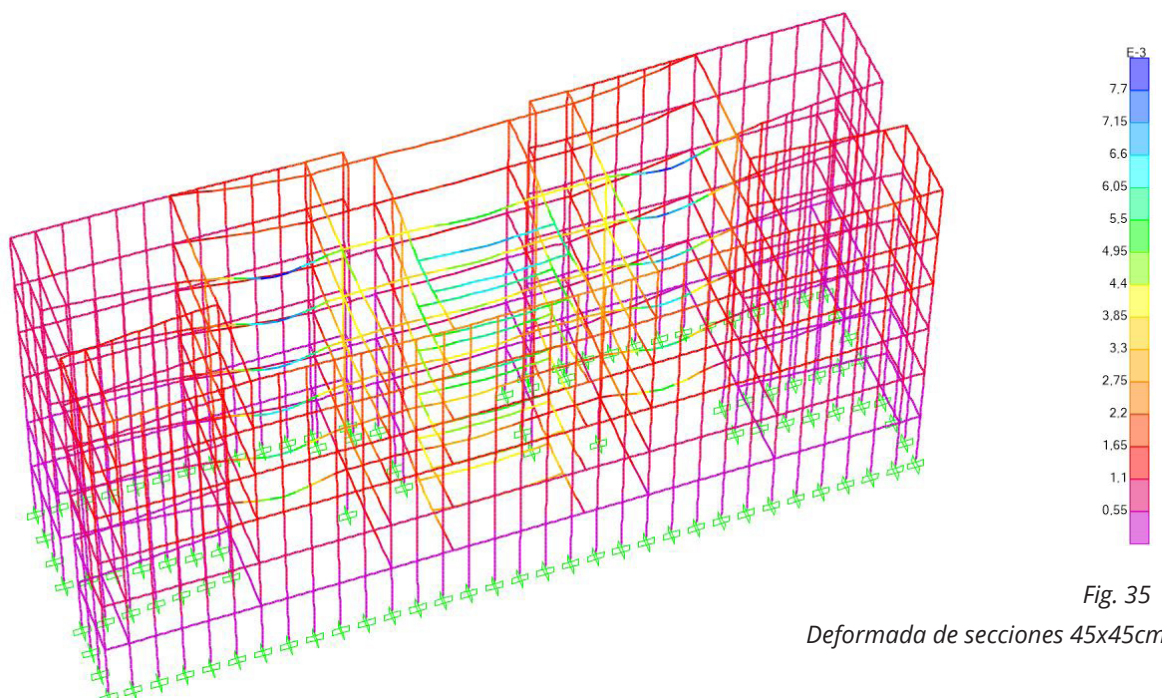


Fig. 35

Deformada de secciones 45x45cm.

Con esta dimensión de pilares, se observa que ya cumplen el mínimo todos los perfiles, mientras que en la deformada el valor se ha reducido de 16,5 a 7,7, sin embargo vemos que la variación de valores en la deformación sigue siendo muy amplia puesto que la diferencia de luces entre la fachada (1,40-1,60m) y las luces del pórtico interior (7,60m) es muy drástica. Se observa que la variación del cortante en los distintos ensayos es muy baja como se muestra en la comparación entre el ensayo con las medidas del edificio picasso y el sobredimensionado.

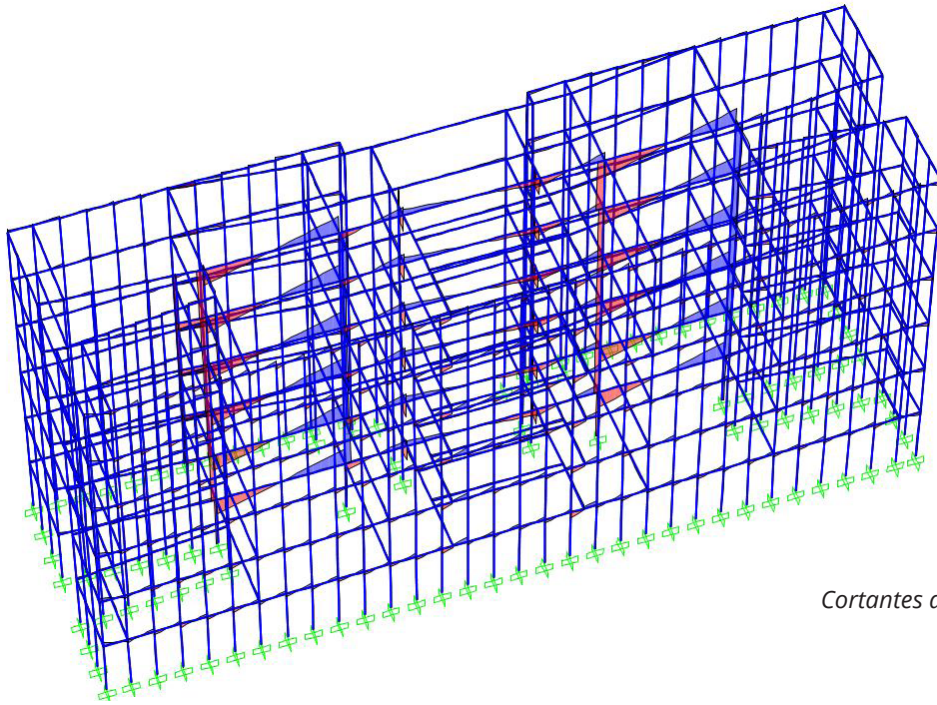


Fig. 36

Cortantes de secciones 45x45cm.

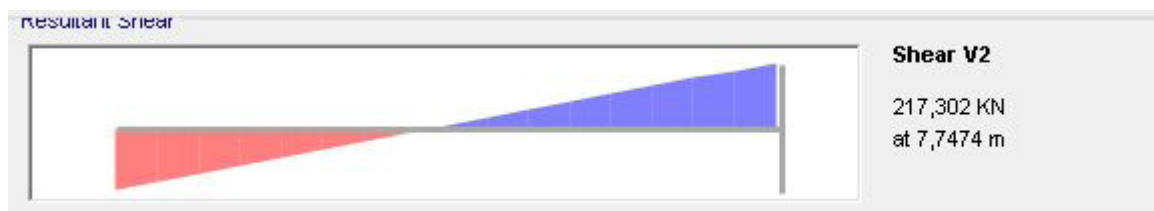


Fig. 37 Cortante de secciones 38x38cm .

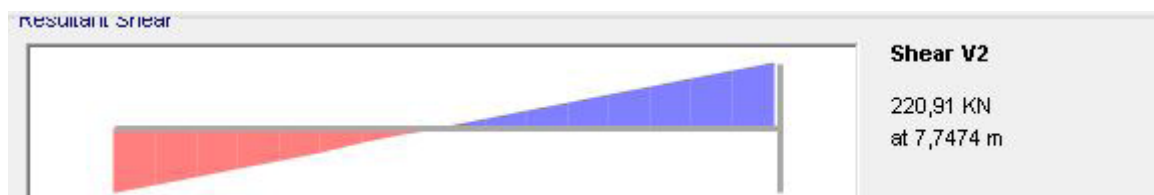


Fig. 38 Cortante de secciones 45x45cm .

9. BIBLIOGRAFÍA

DIBUJOS Y ESQUEMAS

- Fig. 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20 - Dibujos del autor Autocad, Rafael Cano Aceituno
- Fig. 21*, 22*, 23, 24, 25, 26 27, 28, 29, 30, - Extraído de SAP2000, Rafael Cano Aceituno
- 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38

LIBROS

- Lawson, R. M., Ogden, R., & Goodier, C. I. (Chris I. (2014). *Design in modular construction*. Boca Ratón : CRC Press.
- Smith, R. E., & Timberlake, J. (2010). *Prefab architecture : a guide to modular design and construction*. Hoboken, N.J. : John Wiley & Sons.
- Knaack, U., Chung-Klatte, S., & Hasselbach, R. (2012). *Prefabricated systems : principles of construction*. Basel : Birkhäuser.
- Holl, S., Levene, R. C., & Márquez Cecilia, F. (2003). *Steven Holl, 1986-2003 : in search of a poetry of specifics, thought, matter and experience = hacia una poética de lo concreto, pensamiento, material y experiencia*. Madrid : Croquis.
- Olsen, C., & Mac Namara, S. C. (2014). *Collaborations in architecture and engineering*. New York, NY [etc.] : Routledge.
- Garofalo, F. (2003). *Steven Holl*. London : Thames & Hudson.
- Holl, S., & Woods, L. (2007). *Architecture spoken (1st ed.)*. New York, NY : Rizzoli.
- Frampton, K. (2003). *Steven Holl : architect*. Milano : Electa Architecture.
- Calavera Ruiz, J., & Fernández Gómez, J. (2001). *Una introducción a la prefabricación de edificios y naves industriales*. Madrid : INTEMAC.
- Koncz, T. (1968). *Manual de la construcción prefabricada : con elementos de hormigón armado y de hormigón pretensado, construcción, cálculo y ejecución de las obras*. Barcelona [etc.] : Blume.
- Fisac, M. (2003). *Hormigón.II, Prefabricado*. Madrid : ATC.

FOTOGRAFÍAS

- Fig. 1 - Web Ministerio de Fomento, España. Tabla de consumo de cemento, de <https://apps.fomento.gob.es/Boletinonline/?nivel=2&orden=17000000>
- Fig. 2 - Web Ministerio de Fomento, España. Tabla de paro en la construcción de <https://apps.fomento.gob.es/Boletinonline/?nivel=2&orden=17000000>

- Fig. 3 - Web estudio Zaha Hadid Architects. Fotografía *Morpheus Hotel*, de <http://www.zaha-hadid.com/architecture/city-of-dreams-hotel-tower-cotai-macau/>
- Fig. 4 - Web Foster and Partners. Foto *St. Mary Axe* de <https://www.fosterandpartners.com/es/projects/30-st-mary-axe/#gallery>
- Fig. 5, 6, 7 - Web Steven Holl Architects. Foto *Simmon's Hall*, *Linked Hybrid*, *Sliced Porosity Block* de <http://www.stevenholl.com/projects/type/housing>
 Web Constructora www.sgh.com . Foto *Simmon's Hall*, de <http://www.sgh.com/projects/massachusetts-institute-technology-simmons-hall>
 Web Structurae. Foto *Simmon's Hall* de <https://structurae.info/ouvrages/simmons-hall/photos?min=25>
 Web www.dezeen.com. Foto *Linked Hybrid* de <https://www.dezeen.com/2008/03/06/construction-of-linked-hybrid-by-steven-holl/>
 Web archpaper.com. Foto *Sliced Porosity Block* de <https://archpaper.com/2011/07/on-view-light-pavilion-by-lebbeus-woods-christoph-a-kumpusch/>
 Web arqa.com. Foto *Sliced Porosity Block* de <http://arqa.com/english-es/architecture-es/sliced-porosity-block-in-chengdu-china.html>
- Fig. 8 - Web Barkow Leibinger. Foto *Tour Total*, *Linked Hybrid*, *Sliced Porosity Block* de https://barkowleibinger.com/archive/view/tour_total
- Fig. 9 - Web davidchipperfield.com. Foto *Ciudad de la Justicia de Barcelona* de https://davidchipperfield.com/project/city_of_justice_barcelona
- Fig. 10 - Web www.cruzyortiz.com. Foto *Conserjería de Fomento y Vivienda, Edificio Picasso* de https://www.cruzyortiz.com/portfolio/oficinas-para-consejeria-de-fomento-y-vivienda-edificio-picasso-junta-de-andalucia/?gallery=planos&start_gallery=11014
- Fig. 21, 22 - Web Oficial estudio tridarq.com. Fotos *Tecnoincubadora Marie Curie* (*Editadas), de http://tridarq.com/2004/Incubadora/Foto_01.html

WEBS

Web www.arquitecturablanca.com. Información *Ciudad de la Justicia de Barcelona*, de http://www.arquitecturablanca.com/obras/ciutat-de-la-justicia-de-barcelona_66.html

Web www.arquitecturablanca.com. Información *Ciudad de la Justicia de Barcelona*, de http://www.arquitecturablanca.com/obras/ciutat-de-la-justicia-de-barcelona_66.html

Web www.architectsjournal.co.uk. Información *Ciudad de la Justicia de Barcelona*, de <https://www.architectsjournal.co.uk/home/city-of-justice-barcelona-spain-by-david-chipperfield-architects/5203618.article>

Web b720.com. *Ciudad de la Justicia de Barcelona* de <http://b720.com/portfolio/ciudad-de-la-justicia-de-barcelona/>

Web divisare.com. *Conserjería de Fomento y Vivienda, Edificio Picasso* de https://divisare.com/projects/344865-cruz-y-ortiz-arquitectos-pedro-pegnaute-pablo-picasso-offices?utm_campaign=journal&utm_content=image-project-id-344865&utm_medium=email&utm_source=journal-id-151

Web archinect.com. *Tour Total, Berlin* de <https://archinect.com/firms/project/704/tour-total/117861256>

Web archpaper.com. *Tour Total, Berlin* de <https://archpaper.com/2013/10/the-twisting-tour-total/>

Web www.detailsinsection.org. *Simmon's Hall MIT* de <http://www.detailsinsection.org/?p=759>

Web [dezeen.com](https://www.dezeen.com). *Sliced Porosity Block* de <https://www.dezeen.com/2013/01/14/sliced-porosity-block-by-steven-holl-architects-2/>

Web [dwww.architectural-review.com](https://www.architectural-review.com). *Sliced Porosity Block* de <https://www.architectural-review.com/today/porosity-block-in-chengdu-by-steven-holl/8643229.article>

LA FACHADA MODULADA ESTRUCTURAL

ESTUDIO DE LA ESTRUCTURA PREFABRICADA EN UNIDADES MODULARES PARA LA FORMACIÓN DE FACHADAS COMPUESTAS DE HORMIGÓN.

AUTOR: RAFAEL CANO ACEITUNO

TUTOR: JOSÉ SÁNCHEZ SÁNCHEZ

DEPARTAMENTO: Estructuras de Edificación
e Ingeniería del Terreno

